



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Medicina Veterinaria**

**Escuela Profesional de Medicina Veterinaria**

**Evaluación de un método numérico de medición de  
diámetro de fibra de la alpaca**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Médico Veterinario**

**AUTOR**

**Haydeé Rufina María GONZÁLES GONZALES**

**Lima, Perú**

**2007**



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Gonzáles, H. Evaluación de un método numérico de medición de diámetro de fibra de la alpaca [Tesis]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina Veterinaria, Escuela Profesional de Medicina Veterinaria; 2007.

---

a mi *Alma Mater*

A la División de Manejo de Recursos Naturales del Centro Internacional de la Papa, por el apoyo técnico y económico en el desarrollo de este estudio. Por la amistad y agradables e inolvidables momentos de trabajo y esparcimiento compartidos, los cuales conservaré en forma muy especial en mi memoria.

Muy Agradecida

A la Estación Experimental Maranganí del Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura (IVITA), muy en especial al Laboratorio de Fibras, por el esforzado y excelente apoyo brindado, el trabajo compartido, la agradable y cálida hospitalidad, la amistad y confianza otorgada.

Muchísimas Gracias

A la empresa privada Sallalli APX S.A., Grupo Inca, el apoyo otorgado contribuye en este estudio y sobretodo en el desarrollo socioeconómico de la región altoandina de nuestro país.

Muchas Gracias

A los profesores docentes, comprometidos con la excelencia académica, formadores de profesionales virtuosos, encaminados a hacer de nuestra facultad el hermoso hogar que es y será.

Muchas Gracias

A mis padres, Juan y Haydeé, el más profundo agradecimiento, por absolutamente todo.  
Todos los años de inmenso amor y abnegada dedicación.

A Eduardito, por su dulzura, carisma, sinceridad, comprensión, y sobretodo generosidad.  
Por su infaltable presencia en las alegrías y tristezas de todos los que lo adoramos.  
Gracias por compartir nuestras vidas y ser el más amoroso de los hermanos.

A Brendita. Un agradecimiento de todo corazón, por brindar una amistad maravillosa y ejemplar, y ser más que única para quienes la adoramos.  
Un agradecimiento muy especial a su preciosa y distinguida familia, por su cálida y reconfortante amistad.

A Sofi. Por cultivar la amistad; brindar paz, solidaridad y sencillez, que comparte con quienes la rodeamos y la queremos. De corazón, Muchas Gracias.

A Karina. Gracias, por ser una hermana mayor, que contribuye en forma ejemplar en el desarrollo personal y profesional de los amigos que la queremos y recordaremos siempre.

A Bruno. Por compartir la ilusión y el entusiasmo con que persigue sus ideales. Por la sinceridad y franqueza que siempre ha poseído. Gracias.

Por compartir ideales, por sembrar fe y esperanza, por la amistad y confianza recibida.  
Por los *Toblerone*, el café *Vanilla Francesa*, el brindis. Y por los años que vendrán.  
Mil Gracias

A todos los amigos, Muchas Gracias, por el afecto compartido; por hacer que los días sean más agradables, llegando cada uno a ocupar un lugar muy especial.

A Dios, por llenarme de bendiciones. Gracias.

## Resumen

El presente estudio evalúa estadísticamente el método de medición de diámetro de la fibra de alpaca mediante procesamiento de imagen digital, *Digital Image Fibre Diameter Analysis*, DIFDA. Este método, desarrollado en el Centro Internacional de la Papa (CIP) requiere de una evaluación del proceso de imágenes digitales obtenidas mediante un escáner de transparencias y negativos de una muestra de fibra de alpaca preparada en porta *slides*. Situándose como un método sencillo y económico. DIFDA presenta dos opciones de procesamiento para la medición de diámetro de fibra, imagen digital completa o de secciones dentro de la imagen digital; expresando el resultado en promedio de diámetro de fibra, desviación estándar y, coeficiente de variación. El objetivo fue comprobar el valor del promedio de diámetro de fibra obtenido mediante DIFDA con los valores respectivos obtenidos mediante dos métodos de medición convencionales: Lanámetro (Microscopio de Proyección) y OFDA. También se evaluó las opciones de medición que presenta DIFDA. Se evaluó 206 muestras de fibra correspondientes a alpacas del Fundo Pacamarca, Puno. Los valores de promedio de diámetro de las muestras, medidas por métodos comerciales, Lanámetro y OFDA, fueron de  $21.64 \pm 3.58$  y  $21.74 \pm 4$ , respectivamente. El promedio reportado para DIFDA fue de  $21.74 \pm 3.03$ . No existiendo diferencia significativa entre ellos. El coeficiente de correlación de Pearson encontrado para DIFDA y Lanámetro fue 0.87 y, para DIFDA y OFDA fue 0.84. La medición de diámetro puede realizarse mediante procesamiento de imagen digital completa, a partir de tres secciones de dimensión (1000 x 1000) píxeles, o desde cinco secciones de dimensión (500 x 500) píxeles. Se concluyó que no existe diferencia estadística significativa entre los resultados de DIFDA y los de los métodos Lanámetro y OFDA. Por lo tanto, su uso puede ser de utilidad en programas de mejoramiento animal que requieren medición continua del diámetro de fibras.

Palabras clave: Fibra de alpaca, diámetro, evaluación.

## Summary

This study presents the statistical evaluation of a digital image alpaca fibre diameter measurement method, Digital Image Fibre Diameter Analysis, DIFDA. This method developed in the International Potato Center (CIP) requires an evaluation of the fibre sample digital image process, prepared in slides covers, taken from a scanner of negatives and films. Becoming an easy and not expensive method. DIFDA presents two options for fibre diameter measurement process, digital image complete and sections of the digital image; expressing the results of the fibre sample in mean fibre diameter, standard deviation and, variation coefficient. The objective was to test the mean fibre diameter values obtained by DIFDA with the respective mean fibre diameter values by other two conventional fibre diameter measurement methods: Projection Microscope and OFDA. In addition, the evaluation of DIFDA's process options is presented. Two hundred six alpaca fibre samples from Pacamarca Farm, Puno, were evaluated. The mean fibre diameter samples values, measured by commercial methods, Projection Microscope and OFDA, were,  $21.64 \pm 3.58$  and  $21.74 \pm 4$ , respectively. The mean fibre diameter reported for DIFDA was  $21.74 \pm 3.03$ , no significant statistical differences between the methods were detected. The Pearson's correlation coefficient for DIFDA and Projection Microscope and for DIFDA and OFDA was 0.87 and 0.84, respectively. The process of DIFDA could be carried in the complete digital image option, or using three or more sections for the dimension of (1000 x 1000) pixels, or five or more sections for the dimension of (500 x 500) pixels. The conclusions were that the DIFDA's results showed no statistical significant differences between neither the Projection Microscope's nor the OFDA's results. Consequently, this measurement method would be used satisfactorily in breeding programs that require continuous fibre measurement.

Key words: Alpaca fibre, diameter, evaluation.



## CONTENIDO

	Pág.
Resumen	vii
Summary	viii
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b>	xii
<b>LISTA DE ANEXOS</b>	xiii
<b>LISTA DE CUADROS</b>	xiv
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	xvi
<b>LISTA DE FOTOS</b>	xvii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	
1. BREVE RESEÑA DEL ASPECTO SOCIOECONÓMICO QUE INVOLUCRA LA PRODUCCIÓN DE FIBRA DE ALPACA EN EL PERÚ	3
2. FIBRA DE ALPACA. GENERALIDADES	
2.1 Definición	7
2.2. Estructura Morfológica	7
2.3 Estructura Molecular de las Fibras	8
2.4 Características Físicas de las Fibras	
2.4.1 Puntas y Raíces	8
2.4.2 Color	8
2.4.3 Diámetro	9
2.4.4 Elipticidad	9
2.4.5 Rizamiento	9
2.4.6 Longitud	9
2.4.7 Brillo/Lustre	10
2.5 Propiedades Mecánicas	
2.5.1 Resistencia a la Fricción	10
2.5.2 Poder de Afieltrado	11
2.5.3 Resistencia a la Tensión	11
2.5.4 Poder Hidroscópico	11
2.5.5 Elasticidad	11

	Pág.
3. EVALUACIÓN DE LA FIBRA DE ALPACA	
3.1 Criterios Subjetivos de Evaluación	
3.1.1 Suavidad	12
3.1.2 Brillo/Lustre	13
3.1.3 Densidad del Vellón	13
3.1.4 Color	13
3.2 Criterios Objetivos de Evaluación	
3.2.1 Finura	15
3.2.2 Longitud de Fibra	17
3.2.3 Densidad Folicular	18
3.2.4 Peso del Vellón	18
3.2.5 Factor Confort	18
3.2.7 Rendimiento	19
4. MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DE LA FIBRA DE ALPACA	
4.1 Métodos Subjetivos de Medición del Diámetro de la Fibra	
4.1.1 Inspección Visual	19
4.1.2 Inspección Manual	20
4.2 Métodos Objetivos de Medición del Diámetro de la Fibra	
4.2.1 Lanámetro	20
4.2.2 Sirolan Laserscan	21
4.2.3 Sirolan Fleecescan	22
4.2.4 Analizador Optico de Diámetro de Fibras (OFDA)	
4.2.4.1 OFDA 100	22
4.2.4.2 OFDA 2000	23
4.2.4.3 OFDA 4000	23
4.2.5 Airflow	24
5. FORMAS DE PRESENTAR LA INFORMACIÓN OBTENIDA DEL ANÁLISIS OBJETIVO DE LA FIBRA DE ALPACA	
5.1 Registro Manual	24
5.2 Registro de Computación	25
<b>III.MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
1. DISEÑO DEL ESTUDIO	27
2. MUESTRAS DE FIBRA	27
3. TAMAÑO MUESTRAL	28
4. LUGAR DE MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DE FIBRAS	28
5. PROCESO DE MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DE FIBRAS	28
5.1. Medición del Diámetro mediante OFDA	29

	Pág
5.2. Medición del Diámetro mediante Lanómetro	29
5.2.1 Materiales	29
5.2.2 Procedimiento	29
5.3 Medición del Diámetro mediante Imagen Digital (Algoritmo Matemático)	30
5.3.1 Materiales	31
5.3.2 Procedimiento	31
5.4 Análisis Estadístico	35
<b>IV. RESULTADOS</b>	<b>37</b>
<b>V. DISCUSIÓN</b>	<b>41</b>
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES</b>	<b>46</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA</b>	<b>47</b>
<b>IX. ANEXOS</b>	<b>51</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

AWTA.	<i>Australian Wool Testing Authority.</i>
CONACS.	Consejo Nacional de Camélidos Sudamericanos.
CSIRO.	<i>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization.</i>
DIFDA.	<i>Digital Image Fiber Diameter Analysis.</i>
FAO.	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
FMV.	Facultad de Medicina Veterinaria.
INDECOPI.	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.
IVITA.	Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura.
OFDA.	<i>Optical Fiber Diameter Analysis.</i>
ONUDI.	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.
NZWTA.	<i>New Zealand Wool Testing Authority Limited.</i>
UNMSM.	Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

## LISTA DE ANEXOS

	Pág
Anexo 1.	52
Modelo del registro utilizado en la medición del diámetro de fibra de alpaca mediante Lanámetro por el Laboratorio de Fibras de IVITA-Maranganí. (FMV-UNMSM).	
Anexo 2.	53
Modelo del registro utilizado en la medición de diámetro de fibra de alpaca mediante OFDA. (Proporcionado por la empresa Sallalli APX S. A.)	
Anexo 3.	54
Fotografías de materiales utilizados en el proceso de lavado y secado de las muestras de fibra de alpaca.	
Anexo 4.	55
Fotografía de los materiales empleados para la medición del diámetro mediante el Lanámetro.	
Anexo 5.	56
Fotografía de los materiales utilizados en la preparación de la muestra para la evaluación del algoritmo matemático (DIFDA).	
Anexo 6.	57
Fotografía de un porta <i>slide</i> preparado con fibra de alpaca.	
Anexo 7.	58
Fotografía del equipo necesario para la medición del diámetro de fibra de alpaca mediante este método de imagen digital (DIFDA).	
Anexo 8.	59
Reseña del fundamento del algoritmo matemático (DIFDA) para el cálculo del diámetro de la fibra de alpaca.	
Anexo 9.	60
Gráficos de dispersión y tablas de valores referenciales de Regresión Lineal Simple de la comparación de DIFDA con Lanámetro y con OFDA.	

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1.	14
Clasificación de los colores de la fibra de alpaca según la NTP 231.029.	
Cuadro 2.	15
Clasificación de los colores de la fibra de alpaca según la NTP 231.301.	
Cuadro 3.	16
Clasificación de la fibra de alpaca según diámetro por la NTP 231.029.	
Cuadro 4.	16
Clasificación de la fibra de alpaca según diámetro por la NTP 231.301.	
Cuadro 5.	17
Clasificación del Grupo Inca para la finura de la fibra de alpaca.	
Cuadro 6.	17
Clasificación de Michell & CIA para la finura de la fibra de alpaca	
Cuadro 7.	18
Clasificación de la fibra de alpaca según longitud por la NTP 231.029	
Cuadro 8.	32
Proceso de identificación de los porta <i>slide</i> .	
Cuadro 9.	34
Esquema empleado en el procesamiento de las imágenes digitales mediante el algoritmo matemático (DIFDA).	
Cuadro 10.	36
Esquema del análisis estadístico realizado en la comparación de las mediciones del algoritmo matemático (DIFDA) con las de Lanámetro y las de OFDA, y entre las opciones de medición de diámetro que ofrece.	

	Pág.
Cuadro 11.	37
Resultados de las mediciones de diámetro de fibra de alpaca mediante el algoritmo matemático (DIFDA), Lanámetro, y OFDA.	
Cuadro 12.	40
Diferencias de media absolutas ( $\mu$ ) entre las comparaciones de las mediciones obtenidas mediante las opciones que el procedimiento de imagen digital (DIFDA) ofrece.	

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.	5
Población mundial de alpacas. (ONUDI, 2006).	
Figura 2.	6
Población aproximada de camélidos sudamericanos en Sudamérica. (ONUDI, 2006).	
Figura 3.	6
Población aproximada de alpacas en Perú. (ONUDI, 2006).	
Figura 4.	38
Intervalos de confianza de los métodos.	
Figura 5.	38
Diferencia entre métodos.	



## LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1.	54
Lavadero.	
Foto 2.	54
Estufa.	
Foto 3.	55
Lanómetro.	
Foto 4.	56
Materiales para la preparación de muestra para la evaluación del algoritmo matemático (DIFDA).	
Foto 5.	57
Porta <i>slide</i> preparado con fibra de alpaca.	
Foto 6.	58
Fotografía del equipo necesario para la medición de diámetro de fibra de alpaca mediante el método de procesamiento de imagen digital (DIFDA).	

## **I. INTRODUCCIÓN**

El Perú es el principal productor de alpacas en el mundo, con una población que representa alrededor del 80% de la población mundial. La comercialización de la fibra de estos animales representa una actividad económica para habitantes de la región alto andina y una alternativa de desarrollo industrial mediante la exportación de fibra procesada o en textiles.

Sin embargo, en el proceso de mejoramiento genético de las alpacas y en la comercialización de su fibra no se evidencia que se considere adecuadamente la calidad de fibra demandada por la industria. En este aspecto, el diámetro de la fibra es uno de los factores más importantes en la clasificación de la fibra. El cual podría determinar el precio de la fibra en el mercado y su mejor comercialización. Al respecto, la comercialización generalmente se realiza por peso de vellón sin considerar el diámetro de fibra. Por esta razón empresas privadas han iniciado a otorgar premios por finura de vellón, sin embargo, el medir el diámetro de la fibra representa un problema de accesibilidad a los métodos existentes. Así se puede indicar que productores pequeños son los menos favorecidos, ya que en algunos casos los métodos y su costo no está al alcance para que puedan determinar la calidad de la fibra de sus animales.

Sobre el particular, los productores de fibra de alpaca requieren conocer, en forma objetiva el diámetro de la fibra de sus animales con fines de venta y/o mejoramiento genético de sus hatos; en algunos casos envían muestras de fibra a laboratorios especializados, en otros casos sólo cuentan con la inspección visual, la cual es una técnica subjetiva de evaluación. Esta deficiencia en la clasificación de la fibra y en la identificación de animales productores de fibra fina representa una debilidad del sistema alpaquero que dificulta aprovechar las oportunidades de desarrollo.

En forma similar, los animales reproductores de fibra fina deben ser considerados como elementos esenciales en programas de selección para el mejoramiento genético, por lo tanto, se recomienda la conservación de éstos en los sistemas de producción con objeto de garantizar la producción de fibra fina. Sin embargo, la selección de estos animales debe realizarse considerando los parámetros de importancia bio-económica donde la medición del diámetro de fibra es fundamental. El método que se utilice debe proporcionar información acerca del diámetro promedio de la muestra (micras), la desviación estándar, y el coeficiente de variación para ser considerado en planes de mejoramiento genético y en la comercialización de animales y de fibra.

Por las razones mencionadas, la División de Recursos Naturales del Centro Internacional de la Papa (CIP), está trabajando para encontrar una solución práctica al problema de medir en forma cuantitativa, simple y económica la finura de la fibra de alpaca y hacerlo de mayor alcance que otros métodos costosos o de métodos subjetivos que carecen de un respaldo científico. Así, el CIP desarrolló un algoritmo matemático de lectura de imagen digital integrado en un adecuado programa de computación. Este algoritmo, DIFDA, *Digital Image Fiber Diameter Analysis*, calcula el diámetro de fibra. Sin embargo, su evaluación es necesaria para ser utilizado en forma adecuada en los hatos alpaqueros o industria.

Por la tanto, la tesis propuesta evalúa el algoritmo matemático que forma parte del procedimiento mencionado, siendo el objetivo de esta tesis el comprobar el diámetro de fibras de alpaca evaluando estadísticamente las mediciones obtenidas en DIFDA con las logradas por dos métodos convencionales (Lanámetro y OFDA).

Se espera en esta tesis cumplir el objetivo propuesto y de lograrlo, el método se consideraría como una alternativa para la medición del diámetro de la fibra de alpaca.

Así, el método DIFDA contribuiría a que los productores de alpacas realicen mejor el control del diámetro de fibra de sus animales y puedan lograr el mejoramiento de sus hatos así como obtener mejor precio en el mercado al ofrecer vellones más finos, lo que contribuiría a mejorar su ingreso económico y su calidad de vida.

## **II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1. BREVE RESEÑA DEL ASPECTO SOCIOECONÓMICO QUE INVOLUCRA LA PRODUCCIÓN DE FIBRA DE ALPACA EN EL PERÚ.**

La crianza de alpacas es una actividad económica importante en la región altoandina peruana, donde la población de alpacas es de aproximadamente tres millones, el 80 por ciento de la población mundial, y la mayor de Sudamérica. (Figs. 1 y 2). Siendo los departamentos de Puno y Cusco los que poseen la mayor población de alpacas. (Fig. 3). (FAO, 2005; ONUDI, 2006).

En esta región, que se sitúa en altitudes de 3,800 hasta más de 5,000 metros sobre nivel del mar y que comprende principalmente la sierra sur y central del país, destaca como actividad económica la producción de fibra. La fibra es el producto principal que se obtiene de la crianza de alpacas y la principal fuente de ingreso para los pobladores de esta región, lográndose alcanzar cerca de 6440 toneladas anuales de fibra, destinándose el 85 por ciento a la industria para exportación y el 15 por ciento a la artesanía y autoconsumo. (FAO, 2005).

Aproximadamente, el 80 por ciento de la población de alpacas y el total de la población de llamas está en manos de estos pobladores, quienes están agrupados en comunidades, parcialidades y minifundios; habitan las zonas más alejadas del país, carecen de servicios básicos como educación, cuidado de la salud, de programas de prevención y control de las enfermedades de sus animales por lo que éstos presentan bajas tasas de crecimiento y de natalidad, generando también bajos niveles de producción; así como de obras de infraestructura vial, por lo que la comunicación y el desarrollo de las actividades de producción y comercialización de sus productos son deficientes, en particular el acceso al mercado para la comercialización de la fibra de alpaca, lo que los hace depender de intermediarios y los perjudica económicamente.

Este sector, que presenta el mayor potencial de desarrollo por la gran población de alpacas que posee muestra el mayor grado de pobreza en la región. (FAO, 2005).

También existen los pequeños y medianos productores que poseen aproximadamente el once por ciento de la población de alpacas, tienen un enfoque empresarial y como realizan prácticas de manejo aceptables la crianza de alpacas les significa una actividad económica rentable; y las empresas asociativas, con un ocho por ciento de la población de alpacas, quienes poseen mayor poder de negociación para la comercialización de los productos, donde la producción de fibra también es la principal fuente de ingreso. (FAO, 2005).

La comercialización de la fibra de alpaca se realiza en forma indirecta mediante intermediación, es decir, no se realiza entre el productor y el sector industrial sino entre el productor y una red de intermediarios, debido a que los productores se encuentran en zonas bastante alejadas de centros poblados. (ONUDI, 2006). En este sistema de comercialización intervienen los alcanzadores, que son quienes se encargan de adquirir la fibra de los productores de las zonas más alejadas del país antes que ellos lleguen al lugar de venta; los rescatistas, que acopian la fibra de los productores con los que mantienen una relación de dominio; los agentes comerciales, que trabajan para las empresas comercializadoras recibiendo un sueldo fijo y una comisión por volumen acopiado; y las empresas comercializadoras, que controlan el comercio de la fibra desde la compra hasta su procesamiento, orientando los productos hacia el mercado internacional. (FAO, 2005). Este sistema de intermediación donde intervienen intermediarios y rescatistas es el denominado sistema tradicional, donde la compra de fibra la realiza el intermediario, quien determina el precio de ésta según el peso y es donde no existe incentivo para la producción de fibra de alta calidad. (CONACS, 2006)

También existe el sistema de acopio y comercialización asociada, donde la compra de fibra la realiza la industria bajo el precio establecido por el productor. La venta de fibra se realiza según categorías, existiendo un incentivo por la calidad de la fibra. (CONACS, 2006; ONUDI, 2006). En este sistema de comercialización la única opción que tienen los productores para beneficiarse es conseguir un volumen considerable de fibra de alta calidad, ya que se promueve la venta de fibra por volúmenes, presentada por calidades según finura, por lo que se establecen categorías. El proceso de categorización es llevado a cabo por las denominadas categorizadoras, las

que son previamente capacitadas. Sin embargo, su desempeño es calificado en términos de regular o malo, no siempre se cumplen las especificaciones indicadas por la Norma Técnica Peruana, y la industria realiza nuevamente la categorización del lote de fibra a adquirir. (CONACS, 2006).

En este sistema de comercialización, se evidencia que no se realiza la categorización de la fibra cuando no es conveniente por la gran cantidad de fibra gruesa que se encuentra en el acopio. (CONACS, 2006). Esto es debido a que del total de producción de fibra de alpaca más del 50 % corresponde a fibra considerada de calidad inferior, 35 % a calidad media, sólo un 8 % a calidad superior, y el resto es representado por fibras cortas; lo que ha originado preocupación por parte de la industria textil. (ONUDI, 2006). Por esta razón, las empresas privadas han iniciado a otorgar un incentivo en dinero por fibra fina. (Safley, 2005).

Es evidente que existen escasas acciones de investigación y desarrollo tecnológico en la categorización y clasificación de la fibra de los camélidos sudamericanos, a excepción de las empresas privadas que utilizan tecnología. (ONUDI, 2006).

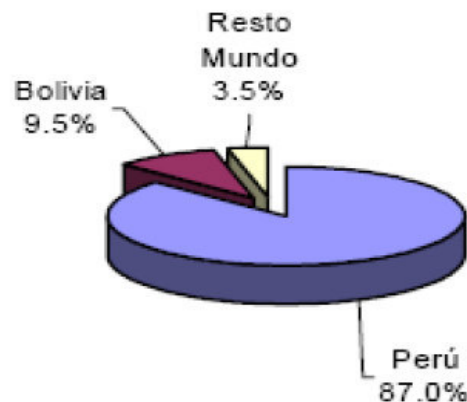


Fig. 1. Población mundial de alpacas. (Tomado de ONUDI, 2006).

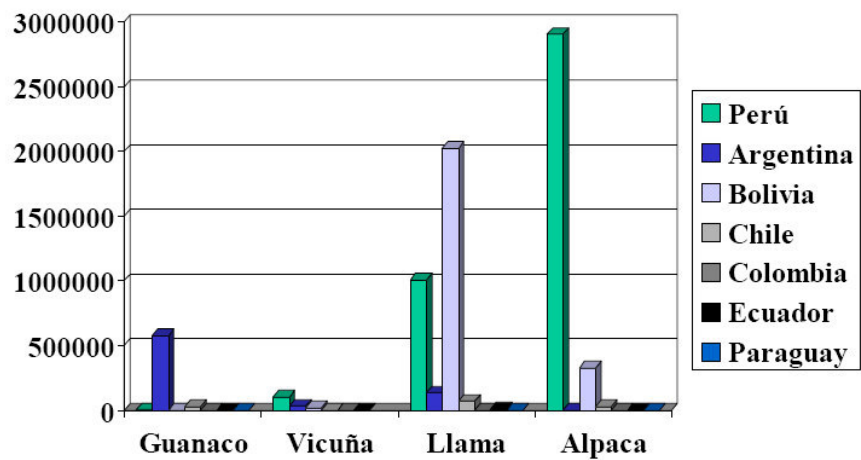


Fig. 2. Población aproximada de camélidos sudamericanos en Sudamérica. (Tomado de ONUDI, 2006).

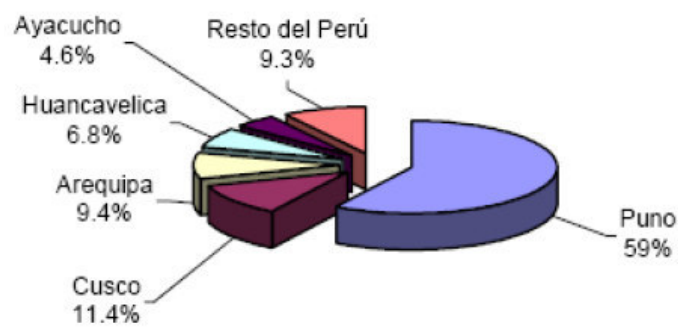


Fig. 3. Población aproximada de alpacas en Perú. (Tomado de ONUDI, 2006).

## **2. FIBRA DE ALPACA. GENERALIDADES.**

### **2.1 Definición.**

La fibra de alpaca se define como una fibra especial de origen animal. (Carpio, 1991). Al ser convertible a hilo o tela, también se le define como fibra textil; para lo cual se requiere que sea de la longitud requerida para proceso industrial, flexible, cohesiva, resistente, delgada, elástica, uniforme, y durable. (Villaruel, 1991).

### **2.2. Estructura Morfológica.**

La fibra de alpaca está compuesta morfológicamente por cutícula, corteza y médula. (Carpio, 1991).

La cutícula es la capa externa de la fibra. Esta compuesta por células planas de forma poligonal, superpuestas entre ellas, a manera de escamas, y unidas entre sí, lo cual encierra y protege a las células de la capa cortical. Esta superposición es propia de las fibras animales. Estas células presentan una orientación unidireccional tal que apuntan siempre hacia arriba, esto junto a su ordenamiento las hace responsables del denominado poder de afieltramiento. Este consiste en que las fibras se traben unas con otras por intermedio del cierre que producen los bordes libres de estas células, formando de esta manera un hilo resistente y elástico. Existe variación en la forma, en el borde y en el arreglo de las células dentro de la cutícula, resultando en diferencias en el grosor de la cutícula y en la apariencia de la superficie de las fibras.

La corteza constituye el cuerpo de la fibra y es la parte de mayor volumen. Está compuesta por células de cerca de  $100\mu$  de longitud y de 2 a  $4\mu$  de grosor. Al corte transversal estas células muestran una forma poligonal. Están ordenadas en forma vertical y están formadas de fibrillas orientadas longitudinalmente. Estas fibrillas pueden dividirse en unidades más pequeñas que son visibles al microscopio electrónico, denominadas microfibrillas.

La médula es la parte central de la fibra y sólo es frecuente en fibras gruesas. En fibras finas es ausente o se observa en muy bajo porcentaje. Se origina en el folículo piloso y se manifiesta como un espacio longitudinal semivacío de estructura no definida en sus características.



### **2.3 Estructura Molecular de las Fibras.**

La lana y la fibra de los mamíferos está compuesta principalmente por moléculas de queratina. La cual contiene cinco elementos químicos en las siguientes proporciones: Carbono (50%), oxígeno (22-25%), nitrógeno (16-17%), hidrógeno (7%) y azufre (3-4%). La fibra de alpaca contiene mayor porcentaje de azufre que otras fibras animales, ya que posee mayor porcentaje de los aminoácidos cistina y metionina. (Carpio, 1991; Villarroel, 1991 ).

### **2.4 Características Físicas de las Fibras.**

#### **2.4.1 Puntas y Raíces.**

El diámetro de la fibra disminuye en su extremo distal, formando una punta o también denominado ápice, y su presencia indica ausencia de esquila previa. La presencia de bulbo en la raíz de la fibra podría indicar que ésta ha sido extraída mediante jalado de piel. Durante el examen al microscopio la presencia de las puntas indicará que la fibra procede de un animal de primera esquila. (Carpio, 1991).

#### **2.4.2 Color.**

El color de la fibra es debido a la melanina y a melanoproteínas. Los gránulos de melanina están presentes principalmente en la corteza, con sólo una pequeña cantidad localizados en la cutícula. Las diferencias en el tono e intensidad de color es debido al color, al arreglo, al grado de acoplamiento y al tamaño de los gránulos de melanina.

Las fibras de los camélidos sudamericanos ofrecen una gama de colores y tonalidades naturales que contribuyen a que sean insumos atractivos para la industria textil. Estos colores poseen un alto índice de solidez a la acción de los rayos solares, al lavado, al uso y a procesos físico-químicos.

En la mayoría de alpacas los colores son enteros, permitiendo una adecuada clasificación del color si es que se desea utilizar en tonos naturales. (Carpio, 1991).

### **2.4.3 Diámetro.**

El diámetro promedio de la fibra de alpaca es la característica física más importante desde el punto de vista tecnológico debido a que es determinante para la clasificación del vellón. Varía según factores como raza, sexo, individuo, edad, región anatómica. Existe también variación del diámetro en las fibras de una mecha y aún dentro de la misma fibra. (Carpio, 1991).

La muestra de fibra tomada de la región anatómica correspondiente al costillar medio es apropiada para determinar del diámetro de fibra del animal. (Aylan-Parker y McGregor, 2001; McGregor, 2002).

### **2.4.4 Elipticidad.**

Al realizarse un corte transversal, en la sección de corte, la fibra varía de forma, desde la forma circular hasta la ovalada. Las fibras finas son más circulares que las fibras gruesas, presentando las primeras menor elipticidad. (Carpio, 1991).

### **2.4.5 Rizamiento.**

La característica de rizamiento de las fibras finas se origina en la región de crecimiento del folículo piloso. Existe dos clases de rizos superpuestos, el primero es ancho y amplio, algunas veces similar en tamaño al rizo de la mecha. El segundo es más pequeño y en cantidades variables comprendidas dentro del rizo grande. (Carpio, 1991). El rizo grande, que es fácil de reconocer, es la curvatura uniforme a lo largo del vellón (*Crimp*); mientras que el pequeño, la curvatura propia de cada fibra y no presenta un patrón definido dentro del vellón (*Crinkle*) (Hoffman, 2003).

En la alpaca raza Suri las fibras parten a nivel de la línea dorsal y conforme caen hacia los flancos laterales se ondulan otorgando la apariencia característica del rizo. (Hoffman, 2003).

### **2.4.6 Longitud.**

La longitud determina el proceso textil que tendrá determinado lote de fibra; el cual puede ser peinado o cardado. El sistema de peinado requiere fibras largas y resistentes mientras que el sistema de cardado puede aceptar fibras no muy largas ni muy resistentes. Se recomienda que los vellones que tengan como promedio de

longitud 7.5 cm o más sean destinados al proceso de peinado (CB) y los vellones con promedios de longitud inferiores a 7.5 cm sean destinados al proceso de cardado (CL). En el caso de la fibra de alpaca *baby* la longitud mínima para el proceso de peinado será de cinco centímetros.

Para la mayoría de especies productoras de fibra, la longitud normal de crecimiento se considera lograda en doce meses. La fibra de un año de crecimiento tiene mejores características de longitud y uniformidad que aquellas de dos años de crecimiento, ya que existe un deterioro en el ápice de la fibra en casi 2.5 cm por acción de los rayos ultravioletas de la sierra.

(Carpio, 1991).

#### **2.4.7 Brillo/Lustre.**

Es la cantidad de luz reflejada por la fibra. (Hoffman, 2003). Esta propiedad depende de la estructura de la superficie, del tamaño y rectitud de la fibra. No es fácilmente perceptible en fibras aisladas pero sí en mechas, hilos o telas. (Villarroel, 1991).

Las células de la cutícula de la fibra de la raza Suri son planas y alargadas, lo que permite que posean la capacidad de reflejar la luz en forma uniforme a lo largo de la fibra, otorgándole así un brillo perlado o lustre característico de esta raza. (McNeill, 2004).

### **2.5 Propiedades Mecánicas**

#### **2.5.1 Resistencia a la Fricción**

Esta relacionada a la orientación unidireccional de las protuberancias de las células de la cutícula, ya que al aplicárseles una fuerza que cause deslizamiento sobre una superficie o entre otras fibras existe resistencia si es que la fuerza es ejercida en la misma dirección en que se encuentran estas células, existiendo menor resistencia si la fuerza es ejercida en dirección opuesta. (Villarroel, 1991).

### **2.5.2 Poder de Afieltrado**

La habilidad del afieltrado depende del efecto de fricción de las escamas de la cutícula y también es influenciado por la rigidez de la fibra y su elasticidad. Cuando las fibras están sujetas a fricción entre ellas, en un medio adecuado, son capaces de afieltrarse produciendo una compacta e irreversible estructura enredada debido a la disposición de las células de la cutícula. (Carpio, 1991).

En un estudio realizado mediante microscopía electrónica se evidenció que la fibra de la raza Suri posee las células de la cutícula más planas, alargadas y escasas en número a lo largo de la fibra, en comparación con la fibra de la raza Huacaya, lo que explicaría la mayor capacidad de afieltrarse de ésta última. (McNeill, 2004).

### **2.5.3 Resistencia a la Tensión.**

Es la capacidad de soportar tensión. Puede estar influenciada por la dieta y la exposición solar. (Hoffman, 2003). Es una característica importante, ya que la fibra debe soportar tensiones durante el procesamiento industrial. (Villaruel, 1991).

### **2.5.4 Poder Hidroscópico.**

Capacidad de la fibra de absorber vapor de agua de la atmósfera. Es un factor que puede afectar el peso, la finura, entre otras características del vellón. Durante el procesamiento industrial de la fibra se controla y registra la humedad de las instalaciones para garantizar que éste se realice en forma óptima. (Hoffman, 1995; 2003).

### **2.5.5 Elasticidad.**

Capacidad que posee la fibra de recuperar su forma original luego de habersele aplicado fuerzas que la deforman. (Hoffman, 1995). La fibra debe ser lo suficientemente elástica para ser procesada industrialmente. (Villaruel, 1991).

### **3. EVALUACIÓN DE LA FIBRA DE ALPACA**

En la evaluación de la fibra de alpaca no existen estándares universalmente aceptados. Sin embargo, existen diversos criterios y normas de evaluación tanto para los productores como para los industriales. Los productores consideran como prioridad la densidad y la longitud del vellón, ya que significa volumen y peso del mismo; mientras que para los industriales la prioridad es el conjunto de cualidades que posea el vellón. (Hoffman, 2003). Dentro de estas cualidades prevalece la finura, la suavidad, la uniformidad; y en el caso de la raza Suri, el lustre. (Korff, 2004).

La fibra es evaluada y clasificada en categorías que los productores tienen ya establecidas, determinando así el destino de los vellones en la industria y de las alpacas dentro del sistema de producción. En esta evaluación existen criterios subjetivos y objetivos para evaluar la fibra de alpaca, basados en su estructura, características y propiedades.

#### **3.1 Criterios Subjetivos de Evaluación.**

Se consideran las características del vellón que no pueden ser medidas cuantitativamente, como la suavidad y el lustre. Estos criterios pueden ser tan importantes como los objetivos, y la ausencia de ellos en la evaluación del vellón la hace incompleta. (Hoffman, 2003).

##### **3.1.1 Suavidad.**

Es el más importante de los criterios subjetivos. La fibra de alpaca se caracteriza por ser de suavidad uniforme. Esto es debido al ordenamiento de las escamas de la cutícula. En la raza Suri estas células son alargadas y planas, mientras que en la raza Huacaya son más protuberantes. (Hoffman, 2003; Villarroel, 1991). Esto, adicionando la finura de las fibras y la uniformidad del vellón, condiciona la suavidad de la prenda de vestir. (Fortt, 2004; Hoffman, 2003). Este ordenamiento no solo se manifiesta al tacto sino también durante el procesamiento industrial. La fibra de la raza Huacaya es más manejable y resistente durante el proceso, mientras que la de Suri es tan suave que muchos recomiendan mezclarla con fibra de Huacaya para obtener el producto textil. (Hoffman, 2003).

Para juzgar adecuadamente esta cualidad de la fibra se necesita bastante experiencia, primero se necesita diferenciar vellones de diversas zonas corporales, y luego diferenciar vellones de animales de diferentes edades. (Hoffman, 2003).

### **3.1.2 Brillo/Lustre.**

Una de las mayores diferencias entre las razas de alpacas es el lustre. (Carpio en Novoa, 1991). En la raza Huacaya a esta cualidad se le denomina brillo, mientras que en la raza Suri, lustre; y es una de las cualidades más importantes en el juzgamiento de esta raza. (Korff, 2004). Esta característica se manifiesta mejor en la fibra de la raza Suri, y se juzga a simple vista. (Hoffman, 2003).

La cantidad y tipo de brillo o lustre tiene gran importancia en la selección de vellones y fibras para específicos tipos de telas y usos. (Carpio, 1991).

### **3.1.3 Densidad del Vellón.**

Esta evaluación se realiza con el animal en pie. Debe ser evaluada utilizando ambas manos, separando el vellón para observar la facilidad con la que se separan las fibras y la cantidad de piel que se puede observar en el sector que se está evaluando. (Korff, 2004). El vellón denso representa una barrera física para el animal ya que otorga impenetrabilidad en relación al medio externo. (Hoffman, 2003).

### **3.1.4 Color.**

Existen dos categorías de colores: Puros o definidos, que se presentan en un solo animal y matizados, que se obtienen al mezclar los vellones luego de la esquila. Los colores puros incluyen al blanco, al negro, y a los colores entre éstos. Los mezclados, se obtienen combinando colores para lograr vellones que semejen a los colores puros. (Hoffman, 2003).

La evaluación y clasificación de los colores se puede realizar en forma objetiva y precisa utilizando tecnología, sin embargo, en Perú a nivel industrial se ha optado por realizar esta evaluación en forma subjetiva utilizando cartillas de colores. (Hoffman, 2003). En la clasificación objetiva del color de las fibras animales se utiliza el espectrofotómetro, siendo de gran utilidad para determinar el proceso industrial apropiado para el vellón analizado. (NZWTA, 2004a).

Según la Norma Técnica Peruana 231.029 (1963) la fibra de alpaca se clasificaba en colores como se muestra en el siguiente cuadro (Carpio, 1991):

Cuadro 1. Clasificación de los colores de la fibra de alpaca según la NTP 231.029.

<b>Categorías</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Color</b>
Colores definidos	B	Blanco
	BCC	Blanco Canoso Claro
	BPO	Blanco Canoso Oscuro
	LFX	Crema Claro
	LFY	Crema Medio
	LFZ	Crema Oscuro(Color Vicuña)
	C	Café Claro
	CM	Café Medio
	CO	Café Oscuro
	N	Negro
Colores combinados	GP	Gris Plata
	GLF	Gris LF
	GC	Gris Claro
	GI	Gris Indefinido
	GO	Gris Oscuro
Colores mezclados	PC	Pintado Claro
	PO	Pintado Oscuro

Esta Norma Técnica Peruana ha sido modificada, teniéndose la NTP 231.301 establecida en el 2004, la cual es distribuida por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), en donde la fibra de alpaca es clasificada en colores de la siguiente manera (INDECOPI, 2004):

Cuadro 2. Clasificación de los colores de la fibra de alpaca según la NTP 231.301.

<b>Categorías</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Color</b>
Colores enteros	B	Blanco
	LFX	Beige
	LFY	Vicuña
	LFZ	Vicuña Intenso
	CC	Café Claro
	COM	Café Oscuro Marrón
	CON	Café Oscuro Negro
	GP	Gris Plata
	GO	Gris Oscuro
	N	Negro
Colores canosos	BMC	Blanco Manchado Claro
	BMO	Blanco Manchado Oscuro
	GC	Gris Claro con canas blancas
	NM	Negro Manchado
Colores indefinidos		Colores que puedan tomar diferentes tonalidades no determinadas

Las empresas privadas también han creado listas y cartillas de colores que se utilizan como catálogos de venta que ayudan a identificar y rotular los colores de los vellones de sus animales y/o vellones.(Hoffman, 2003).

### 3.2 Criterios Objetivos de Evaluación.

#### 3.2.1 Finura.

Es el diámetro de la fibra, se evalúa al medirse en micras y es la característica más importante desde el punto de vista tecnológico y textil. Existen diversos sistemas de clasificación basados en la finura de la fibra de alpaca. (Carpio, 1991; FAO, 2005; Hoffman, 2003; ONUDI, 2006). En Arequipa, Perú, existe un sistema de clasificación que es utilizado en diversas zonas del país al que se le denomina "Sistema Arequipa", el cual es el siguiente (Carpio, 1991):

- Arequipa Fleece Primera, entre 26 y 28 micras.
- Arequipa Fleece Segunda, entre 30 y 32 micras.
- Pelada Skin Fleece, entre 23 y 28 micras.
- Garras, cuya finura se encuentra sobre las 36 micras.
- Baby Extrafina, son vellones de alpacas jóvenes con menos de 22 micras de diámetro.



Existe también una norma aprobada y adoptada en 1963, constituyéndose en la Norma Técnica 231.029, a nivel internacional fue acogida como norma de clasificación en 1965 por la Sociedad Americana de Materiales y Análisis (ASTM). También fue incluida como norma por la Comisión Panamericana de Normas Técnicas. Las especificaciones y símbolos utilizados por esta norma de clasificación son los siguientes (Carpio, 1991):

Cuadro 3. Clasificación de la fibra de alpaca según diámetro por la NTP 231.029.

<b>Tipo</b>	<b>Diámetro</b>
T EXTRA	Menos de 22 $\mu$
T (tui)(12-18m)	22.00 a 24.99 $\mu$
X (adulto)(Vellones finos)	22.00 a 24.99 $\mu$
AA (Vellones finura media)	25.00 a 29.99 $\mu$
A (Vellones gruesos)	30.00 a 35.99 $\mu$
SK (Bragas)	Sobre 30.00 $\mu$
LP (Pedazos)	Sobre 30.00 $\mu$

En la NTP 231.301 (2004), la fibra de alpaca es clasificada de acuerdo a su finura de la siguiente manera (INDECOPI, 2004):

Cuadro 4. Clasificación de la fibra de alpaca según diámetro por la NTP 231.301.

<b>Clasificación</b>	<b>Finura (<math>\mu</math>)</b>
Alpaca Baby	Hasta 23
Alpaca Fleece	23,1 a 26,5
Alpaca Medium Fleece	26,6 a 29
Alpaca Huarizo	29,1 a 31,5
Alpaca Gruesa	Más de 31,5
Alpaca Corta	-----

Empresas privadas, como el Grupo Inca y Michell & CIA, han clasificado también a la fibra de las dos razas de alpacas según su finura. En los cuadros 5 y 6 se presenta la clasificación correspondiente de las empresas que se acaban de mencionar.

Cuadro 5. Clasificación del Grupo Inca para la finura de la fibra de alpaca.

<b>Grado de clasificación de Huacaya</b>	<b>Diámetro de la fibra en micras (<math>\mu</math>)</b>
<i>Royal</i>	19.5
Superfina	25-26
Huarizo	30-31
Alpaca adulta	32-33.5
Alpaca ordinaria ( <i>Coarse</i> alpaca)	34-35
Alpaca áspera ( <i>Harsh</i> alpaca)	> 37
<b>Grado de clasificación de Suri</b>	<b>Diámetro de la fibra en micras (<math>\mu</math>)</b>
<i>Baby</i> Suri	23
Suri	26-27
Huarizo Suri	32
Suri ordinaria ( <i>Coarse</i> Suri)	34

Tomado de: Hoffman. 2003. *The Complete Alpaca Book*.

Cuadro 6. Clasificación de Michell & CIA para la finura de la fibra de alpaca.

<b>Grado de clasificación de Huacaya</b>	<b>Diámetro de la fibra en micras (<math>\mu</math>)</b>
<i>Baby</i>	20-22
Superfino	25.5
Adulto	27.5
Huarizo	32
Llama	34
<i>Coarse</i>	34-36
<b>Grado de clasificación de Suri</b>	<b>Diámetro de la fibra en micras (<math>\mu</math>)</b>
<i>Baby</i>	21-23
<i>Regular</i>	25-27.5
<i>Coarse</i>	> 30

Tomado de: Hoffman. 2003. *The Complete Alpaca Book*.

### 3.2.2 Longitud de Fibra.

La longitud de la fibra se mide, con el animal en pie, desde la piel hasta el ápice de la fibra. (Fortt, 2004). Una longitud de fibra de 2.8 a 4 pulgadas (7-10 cms.) es suficiente para el procesamiento industrial. (Hoffman, 2003).

Se espera que en un año crezca aproximadamente 5 pulgadas (12.7 cms.) considerando que el crecimiento de la fibra disminuye con el número de esquilas y con la edad del animal. Por lo general el crecimiento de la fibra disminuye entre los 8 y 12 años de edad. (Hoffman, 2003).

Según la Norma Técnica 231.029 se tiene la siguiente clasificación de la longitud de la fibra de alpaca. (Carpio, 1991):

Cuadro 7. Clasificación de la fibra de alpaca según longitud por la NTP 231.029

<b>Simbolo</b>	<b>Longitud de fibra</b>	<b>Proceso Industrial</b>
CB	Mayor de 7.5 cm	Peinado
CL	Menor de 7.5 cm	Cardado

### **3.2.3 Densidad Folicular.**

Es el número de folículos pilosos por unidad de superficie, generalmente expresado en mm<sup>2</sup>, y se obtiene contando los folículos pilosos, con énfasis en los folículos secundarios. Las pruebas para evaluar la densidad folicular conllevan un procedimiento costoso, difícil y lento ya que se requiere de biopsias de piel y equipo científico. (Hoffman, 2003).

### **3.2.4 Peso del Vellón.**

Se expresa en kilogramos. Se determina luego de la esquila, y se debe registrar el peso total del vellón y el peso del vellón limpio que se obtiene luego de someter el vellón sucio a proceso de lavado. (Hoffman, 2003).

### **3.2.5 Factor Confort.**

Es la sensación de comodidad que brindarían las fibras a la prenda confeccionada a partir de éstas. (ONUDI, 2006). Es otorgado por las fibras con diámetros menores a 30 µ, ya que éstas podrían condicionar la suavidad del vellón y la sensación que provocarían al entrar en contacto con la piel humana. (Fortt, 2004; Hoffman, 2005). Las fibras con diámetro mayor a 30 µ serían responsables de la sensación de irritabilidad en la piel. (Hoffman, 2003).

Se expresa en términos de porcentaje, y también se puede obtener sustrayendo el porcentaje de fibras con diámetro mayor a 30 µ del cien por ciento. (McColl, 2004).

### **3.2.7 Rendimiento.**

El rendimiento es el porcentaje del vellón que se obtiene luego de someter el vellón sucio a proceso de lavado. Las impurezas que presenta el vellón pueden ser adquiridas o aplicadas; las adquiridas son las tomadas por el animal durante su crecimiento en pastoreo; así se adhiere al vellón polvo, tierra o sustancias vegetales como semillas, hojas, etc. Otras impurezas encontradas son las sustancias utilizadas en tratamientos sanitarios o en la identificación como pinturas; son las denominadas impurezas aplicadas. (Carpio, 1991).

## **4. MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DE LA FIBRA DE ALPACA.**

### **4.1 Métodos Subjetivos de Medición del Diámetro de la Fibra.**

La inspección visual y manual son fundamentalmente aspectos del juzgamiento de la fibra, pero no son recomendables como métodos para determinar el diámetro promedio de la muestra de fibra. (McColl, 2004).

#### **4.1.1 Inspección Visual.**

Se evalúan determinadas zonas del animal, sobretodo los flancos laterales. Se espera que la mayor parte del vellón que se observe sea de apariencia uniforme. La inspección visual también revela el daño causado por el sol o por el agua, fibras partidas, entre otros defectos que se pueden apreciar a simple vista.

Es necesario evaluar el vellón abriéndolo hacia la piel, en tres zonas del flanco lateral (craneal, medial, y caudal) donde se podrá apreciar también otras características del vellón como longitud, ondulaciones, color, brillo.

Esta inspección también se puede realizar en otras zonas del animal como el cuello, patas, cola.

(Hoffman, 2003).

En la evaluación visual se relaciona, en forma inversamente proporcional, la ondulación de la fibra con el diámetro de ésta. (Safley, 2005).

#### **4.1.2 Inspección Manual.**

Se realiza a los vellones obtenidos luego de la esquila. La clasificación de éstos, en relación a finura, es realizada mediante el tacto, y también se considera que los vellones con abundantes ondulaciones son los más finos. (Safley, 2005).

#### **4.2 Métodos Objetivos de Medición del Diámetro de la Fibra.**

La medición objetiva se realiza sin la influencia de emociones personales o prejuicios, y permite obtener información en micras con décimas de precisión. (McColl, 2004).

Por los requerimientos actuales de la industria cualquier método a emplearse debe otorgar por lo menos las siguientes mediciones: diámetro de la fibra (micras), desviación estándar, coeficiente de variación. (Hoffman, 2003).

Independientemente del sistema de medición elegido se debe considerar que los siguientes factores pueden alterar las mediciones del diámetro: la toma de muestra, la conservación de la muestra y la preparación de la muestra, así como las condiciones del sistema de medida. (AWTA, 2000c).

Entre los métodos objetivos de medición del diámetro de fibra de alpaca se tiene:

##### **4.2.1 Lanámetro**

Es el primer método objetivo de medición de diámetro de las fibras animales. (McColl, 2004).

Este método consiste en tomar al azar, en forma homogénea, porciones de fibras de la muestra a medirse. En la preparación de muestra se utilizan el Micrótopo de Hardy, láminas portaobjeto, laminillas cubreobjeto, parafina líquida o aceite de inmersión o bálsamo de Canadá, y hojas de bisturí. En el registro de las observaciones se hace uso de un formato de registro para cada muestra de fibra en estudio. (Zárate, 2006).

El procedimiento consiste en introducir un grupo de fibras en el Micrótopo de Hardy. Con la ayuda de la hoja de bisturí se corta la fibra en pequeños segmentos. Estas porciones de fibra son colocadas sobre la lámina portaobjeto y dispersadas en parafina líquida o aceite de inmersión o bálsamo de Canadá. Finalmente se adhiere la

laminilla cubreobjeto sobre este preparado, y se somete la lámina a proceso de secado en estufa. Obteniéndose la muestra para la observación microscópica. (Zárate, 2006).

Durante el proceso de medición el ambiente debe ser oscuro. La lámina preparada o muestra, es colocada en el Lanámetro a un aumento de 500x. Así los segmentos de fibra aparecen proyectados en la pantalla del Lanámetro, donde se miden con una regla milimétrica incorporada en el aparato. La medición es tomada en el centro de la pantalla y la medida de cada fibra es anotada en los formatos de registro respectivos, de acuerdo a su diámetro y en barras formando grupos de cinco. Mediante fórmulas matemáticas se halla el diámetro promedio de la muestra, desviación estándar y coeficiente de variación. Los resultados finales de la medición de una muestra dependerán mucho de la visión, nitidez y precisión del operador. (Zárate, 2006).

Sin embargo su inconveniente es que es lento, y es de difícil acceso para pequeños criadores, ya que necesitan enviar las muestras a un laboratorio que brinde este servicio. (Hoffman, 2003; McColl, 2004).

#### **4.2.2 Sirolan Laserscan**

La muestra de fibra limpia y seca debe ser sometida a 20°C y 65% de humedad relativa para acondicionamiento. La muestra es cortada con una guillotina en pedazos de 2 mm de largo y los cortes son introducidos a Sirolan Laserscan en el cual se mezclan en una solución de isopropanol y agua. Esta suspensión es conducida a una pequeña cámara de medición. Conforme los cortes de fibra pasan a través de la cámara, en dirección a la cámara de filtro, son intersectados por un fino rayo de luz generado por un láser. Este rayo se dirige hacia el detector de medida. El detector produce una señal eléctrica que es proporcional a la cantidad de luz que incide sobre él. Así las señales eléctricas que son directamente proporcionales al diámetro de los cortes de fibra son registradas electrónicamente y medidos en forma instantánea por la computadora. (CSIRO, 2000c; 2000d; NZWTA, 2004b).

Al haber medido 4000 cortes de fibra la computadora de Sirolan Laserscan calcula el diámetro promedio de la muestra, desviación estándar, coeficiente de variación y porcentaje de fibras menores de 30 micras de diámetro, estas mediciones pueden ser expresadas en un histograma. (Mathis y Paris, 2002).

El Laserscan no es sensible a la humedad. Sin embargo, se recomienda mantener una temperatura entre 15 y 25° C. Por lo que es conveniente instalar el aparato en un ambiente con aire acondicionado y limpio. (Handsford, 1999).

Su inconveniente es que es de difícil acceso para pequeños criadores, ya que necesitan enviar las muestras al laboratorio indicado.(Hoffman, 2003).

#### **4.2.3 Sirolan Fleecescan**

Es un método de medición que por ser portátil puede ser utilizado en el centro de producción y permite medir una muestra del vellón sucio. Primero, la muestra es pesada y cortada, en aproximadamente diez segundos. Luego, la muestra cortada es lavada y secada en una unidad de lavado-secado automática, en aproximadamente doce segundos. Este proceso es necesario para garantizar una medición adecuada en el Sirolan Fleecescan. Posteriormente, la muestra limpia es introducida en el aparato donde se acondiciona y se obtiene la medición bajo el mismo principio que en Sirolan Laserscan, en aproximadamente veinte segundos. La información que se obtiene es el diámetro promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, porcentaje de fibras con diámetro superior a treinta micras, y peso de la muestra de fibra. (CSIRO, 2000a; 2000b).

#### **4.2.4 Analizador Optico de Diámetro de Fibras (OFDA).**

##### **4.2.4.1 OFDA 100.**

La muestra de fibra debe ser acondicionada en un ambiente a 20°C y 65% de humedad relativa por aproximadamente doce horas para garantizar la precisión de las mediciones. (NZWTA, 2004b).

Este método utiliza una muestra de fibra de alpaca limpia y cortada mediante un cortador o guillotina pequeña en fragmentos de dos milímetros de largo. Estos fragmentos de fibra son colocados en una placa de vidrio, utilizando un dispersador automático. Esta placa de vidrio se cierra y se coloca en un microscopio con fuente de luz controlada por un software, la cual atraviesa el lente óptico del microscopio lográndose magnificar y capturar la imagen de cada fibra mediante una cámara de video incorporada. Las fibras son medidas en forma individual, mediante el programa de computación, y junto con los puntos medidos son filmadas y mostradas en la pantalla de

una computadora que está conectada al microscopio. Finalmente, se obtiene un histograma que muestra el diámetro promedio, desviación estándar, factor confort, curvatura y porcentaje de medulación de la muestra analizada. El proceso permite guardar en el programa las imágenes leídas. Mide 4000 segmentos de fibras en aproximadamente 30 segundos. (BSC Electronics, 2001).

Su inconveniente es que es de difícil acceso para pequeños criadores, ya que necesitan enviar las muestras a un laboratorio que brinde este servicio. (Hoffman, 2003).

#### **4.2.4.2 OFDA 2000.**

Es un método de medición que por ser portátil permite utilizarse dentro del centro de producción. Este método es capaz de medir el diámetro de muestras del vellón sucio. (McColl, 2004).

El proceso muestra la posición de los puntos más finos y más gruesos a lo largo de la fibra. Requiere de un calibrador de temperatura y humedad relativa que debe ser ajustado según las condiciones ambientales de la instalación y así las muestras son previamente acondicionadas al medio ambiente. (McColl, 2004).

Mide fibras con diámetros desde 4 hasta 300 micras. De cada lectura se obtiene promedio de diámetro, desviación estándar, coeficiente de variación, curvatura y la desviación estándar de ésta, longitud, porcentaje de fibras mayores de 30 micras de diámetro. Mide diámetro y curvatura en todo el largo de la fibra. También se obtiene un histograma con las observaciones señaladas. (BSC Electronics, 2001).

#### **4.2.4.3 OFDA 4000.**

Este método realiza la medición de diámetro de fibras procesadas industrialmente. Las mediciones que se obtienen son: promedio de diámetro, desviación estándar, coeficiente de variación, curvatura, longitud. Puede programarse para medir en módulos, como sólo diámetro, o sólo longitud. (BSC Electronics, 2001).

Sin embargo su inconveniente es que es de difícil acceso para los criadores de alpacas, ya que necesitan enviar las muestras a un laboratorio que brinde este servicio. (Hoffman, 2003).



#### **4.2.5 Airflow.**

Este método mide la corriente de aire que entra en contacto con una muestra de fibra, de esta manera otorga una medición indirecta del diámetro. Asume que la densidad del vellón es constante. Las mediciones obtenidas no incluyen desviación estándar, ni coeficiente de variación. (AWTA, 2000a; McColl, 2004).

### **5. FORMAS DE PRESENTAR LA INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA MEDICION DEL DIÁMETRO DE FIBRA DE ALPACA.**

La información de una muestra de fibra, que se obtiene mediante un método objetivo de medición se presenta indicando el promedio de diámetro y la desviación estándar. Sin embargo, como en una muestra de fibra los valores de los diámetros son variables, es conveniente presentar también el coeficiente de variación.

Es necesario obtener un registro para analizar y utilizar adecuadamente la información obtenida de la medición del diámetro, por lo que es conveniente obtener un registro individual por medición de muestra que se realice. Estos registros pueden ser elaborados en forma manual (Registro manual) u otorgado en forma digital en formato imprimible (Registro de computación).

#### **5.1 Registro Manual.**

Se utiliza para presentar la información obtenida del análisis del diámetro de fibra mediante Lanámetro. Las mediciones van siendo anotadas, en un formato de registro, de acuerdo a su diámetro, en barras formando grupos de cinco. Para cada muestra de fibra que se analice existe un registro.

El operador mediante fórmulas matemáticas halla el diámetro promedio de la muestra, desviación estándar y coeficiente de variación. También, si se solicita, puede registrarse el tipo de medulación de cada fibra que se mide, de donde el operador podrá calcular el porcentaje de medulación de la muestra.

En el anexo 1 se presenta un modelo del registro empleado por el Laboratorio de Fibras de IVITA- Marangani FMV-UNMSM, para este método de medición de diámetro. En este modelo de registro se indica, entre otros valores: Milímetro (mm-A) con su equivalente en micras (Micra-C), Número de fibras (N°Fib.), tabla donde se ingresan los datos obtenidos de operaciones matemáticas como desviación estándar, coeficiente de variación (DATOS OBTENIDOS).

## **5.2 Registro de Computación.**

Es un informe otorgado por el programa de computación de métodos de medición de diámetro como Sirolan Laserscan y OFDA, donde se presenta los resultados de la medición: Promedio de diámetro, desviación estándar, y coeficiente de variación. Junto con la identificación del animal del que procede la muestra de fibra se indica la edad del animal, la raza, el sexo, la fecha de colección de la muestra, la zona corporal a la que pertenece la muestra, la fecha de la medición, nombre del cliente o propietario, nombre de la persona que realiza la medición. También incluye información acerca del tamaño de la muestra evaluada, porcentaje de medulación, curvatura y porcentaje de fibras con diámetro mayor a treinta micras. Junto con esta información grafica en un plano x/y el valor del diámetro de la muestra de fibra en relación a la frecuencia de ocurrencia de éste, representada en porcentaje. (Histograma). Como estos registros brindan la información junto con un histograma, a este informe se le denomina histograma. (Hoffman, 1998).

Si en un histograma no se incluye la edad e identificación del animal se pierde información importante para el análisis de la información de la muestra. (Hoffman, 1998).

En el histograma la medición de cada fibra es incluida en el gráfico, en donde, conforme se van midiendo las fibras se van formando grupos, según diámetro. Finalmente, estos grupos aparecen a manera de barras y representan las frecuencias de diámetro en la muestra. De esta manera, se puede identificar al grupo que posee la mayor frecuencia porque está representado por la barra más alta del gráfico. Siendo por esta razón una forma fácil para observar la variabilidad del diámetro en una muestra. (AWTA, 2000b).

El histograma es la presentación gráfica más común de la información cuantitativa de la muestra de un vellón. (McColl, 2001). En un inicio éstos sólo incluían promedio de diámetro, desviación estándar, y coeficiente de variación; que son los criterios más importantes en la evaluación del vellón; posteriormente, por los requerimientos industriales se adicionó otros criterios para complementar el registro. (Hoffman, 2005).

Los histogramas pueden permitir obtener el registro de las características del vellón de un animal a lo largo de su vida productiva, siendo esta información importante para la selección de animales en el hato. De ser así, la primera muestra debe tomarse en la primera esquila del animal, entre los 12 y 18 meses de edad (Tui), ya que representa el mejor vellón y en cada esquila se tomará otra muestra del lugar muestreado inicialmente. (Hoffman, 2003).

En el anexo 2 se muestra un modelo de estos registros, para el método OFDA. Este histograma presenta: Fecha de análisis (*Date*), número de identificación del animal del que procede la muestra (*Sample ID*), zona corporal de donde ha sido obtenida la muestra (*Description*), cliente (*Lot/Client*), nombre o iniciales de la persona que realizó la medición (*Operator*), diámetro promedio de la muestra y desviación estándar (*Diam*), coeficiente de variación (*CV*), promedio de curvatura (*CEM*), factor confort (*CF*), y tamaño de la muestra (*Sample size*).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **1. DISEÑO DEL ESTUDIO.**

El objetivo del presente trabajo es el de comparar la medición de diámetro de fibras de alpaca de dos métodos convencionales (Lanámetro y OFDA) con la obtenida mediante un proceso de lectura de imagen digital. Este estudio se realizó de la siguiente manera:

1°. Se consiguió la medición del diámetro de fibra mediante OFDA.

Las muestras de fibra y las mediciones de diámetro de éstas mediante el método OFDA fue realizado por la empresa Sallalli APX S.A., Grupo Inca, situada en Arequipa, Perú.

2°. Se realizó la medición del diámetro de fibra de las mismas muestras mediante el método de Lanámetro.

3°. Se realizó la medición del diámetro de fibra de las mismas muestras mediante la lectura de imagen digital, para lo cual se utilizó un algoritmo matemático (DIFDA) desarrollado por el Centro Internacional de la Papa (CIP).

4°. Se compararon y evaluaron estadísticamente las mediciones obtenidas mediante el algoritmo matemático con las logradas por OFDA y Lanámetro.

#### **2. MUESTRAS DE FIBRA.**

Se utilizó muestras de fibra de alpaca seleccionadas al azar correspondientes a la región corporal del costillar medio. Esta región corporal es donde la fibra presenta mayor uniformidad respecto al diámetro. (Aylan-Parker y McGregor, 2001). Las muestras fueron tomadas en el Fundo Pacamarca perteneciente a la empresa Sallalli APX S.A. (Grupo Inca), situado en el Departamento de Puno, Provincia de Melgar, Distrito de Llalli; a una altitud de 4,060 m.s.n.m.

### 3. TAMAÑO MUESTRAL.

Para determinar el tamaño de muestra se utilizó la prueba para estimación de una media con la información de otras 128 muestras analizadas por OFDA. La información analizada permite obtener la media y la desviación estándar, con los cuales se puede estimar el tamaño de muestra apropiado para el estudio. Se obtuvo un promedio de diámetro (20,83), con una desviación estándar de 4,94. La fórmula para estimar el tamaño muestral es (León-Velarde y Barrera, 2003; Little y Hills, 1975; Steel y Torrie, 1960) :

$$n = \frac{4 z^2 \sigma^2}{d^2}$$

Donde n = Número de muestra a considerar, z = Valor del nivel de confianza,  $\sigma^2$  = Variancia de muestreo, d = Diferencia deseable de detectar. Con un nivel de confianza de 95%, se obtuvo un tamaño muestral (n)=94. La información obtenida determina que 94 muestras es el valor apropiado.

En la selección de las muestras no se consideró edad, sexo, raza o color de los animales.

### 4. LUGAR DE MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DE FIBRAS.

**4.1 Medición mediante OFDA:** Laboratorio de Control de Calidad de la empresa INCA TOPS S. A. (Grupo Inca.) Arequipa, Perú.

**4.2 Medición mediante Lanámetro:** Laboratorio de Fibras del Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura (IVITA) Maranganí. FMV – UNMSM. Cusco, Perú.

**4.2 Medición mediante el Algoritmo Matemático (DIFDA):** Proyecto de Sistemas de Producción de la División de Recursos Naturales del Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú.

### 5. PROCESO DE MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DE FIBRAS.

Se utilizaron 211 muestras de fibra de alpaca, las cuales fueron colocadas en bolsas de papel Kraft e identificadas con números, del 1 al 211. Las muestras se lavaron y secaron en el Laboratorio de Fibras de IVITA- Maranganí, en la forma recomendada por este laboratorio. El proceso de lavado se realizó con detergente común, marca Opal,

en agua caliente a 60° C, y el proceso de secado se llevó a cabo durante 4 horas en estufa a 80° C. Las muestras limpias y secas se reservaron en forma individual en otras bolsas de papel Kraft, rotuladas con el número de identificación correspondiente para cada una de ellas.

En el anexo 3 se presenta fotografías de materiales utilizados en el proceso de lavado y secado de las muestras.

### **5.1. Medición del Diámetro mediante OFDA.**

La empresa Sallalli APX S.A. realizó la medición del diámetro mediante OFDA en la empresa INCA TOPS S.A. La metodología empleada en este proceso es propia de la empresa.

### **5.2. Medición del Diámetro mediante Lanámetro.**

Este método de medición del diámetro se utiliza para medir fibras animales. Los materiales y la metodología empleada para este método en esta tesis se presentan a continuación:

#### **5.2.1 Materiales.**

211 muestras de fibra de alpaca.

Micrótopo de Hardy.

Mango de Bisturí No. 4.

Hojas de Bisturí No. 20.

211 Láminas portaobjeto.

211 Laminillas cubreobjeto.

Bálsamo de Canadá.

Estufa

Lanámetro.

211 Hojas de registros.

#### **5.2.2 Procedimiento.**

Se realizó la preparación de cada una de las muestras para la lectura del diámetro, cada muestra de fibra fue montada en láminas portaobjeto utilizando el procedimiento que realiza el Laboratorio de Fibras de IVITA-Marangani:

- ❖ La lámina portaobjeto se rotuló con el número de identificación de muestra correspondiente.
- ❖ Una porción de la muestra de fibra de alpaca fue introducida mediante dobleces en el Micrótopo de Hardy.
- ❖ Haciendo uso de la hoja de bisturí se realizaron cortes a la fibra preparada en el Micrótopo de Hardy. Los segmentos de fibra obtenidos se dejaron caer sobre la lámina portaobjeto.
- ❖ Estos segmentos de fibra fueron diseminados en una lámina portaobjeto con una a tres gotas de Bálsamo de Canadá.
- ❖ Se cubrió la lámina portaobjeto con una laminilla cubreobjeto.
- ❖ Las láminas portaobjeto montadas fueron llevadas a la estufa para realizar el proceso de secado, el cual se realizó a 80° C durante 5 horas.

Luego del proceso de secado se realizó la medición del diámetro de las láminas, se consideró la lectura de 300 segmentos de fibra de cada muestra. Conforme se realizaban las lecturas, las mediciones se anotaron en un registro individual para cada una de las muestras.

En el anexo 1, se presenta un modelo del registro empleado en este método, el cual indica: Número de muestra de fibra analizada (N°), Fecha de medición de muestra, Milímetro (mm-A) con su equivalente en micras (Micra-C), Número de fibras (N°Fib.), tabla donde se registran los datos obtenidos de operaciones matemáticas como desviación estándar, coeficiente de variación (DATOS OBTENIDOS). En el anexo 4, se presenta la fotografía de los materiales empleados en medición del diámetro de las muestras mediante este método.

### **5.3. Medición de Diámetro mediante Imagen Digital (Algoritmo matemático).**

La evaluación del algoritmo matemático (DIFDA) consistió en obtener las mediciones del diámetro mediante éste para compararlas con las de los otros métodos de medición de este estudio. Para obtener las imágenes digitales necesarias para este método se prepararon las muestras y se escanearon mediante un escáner de transparencias y negativos. Las imágenes digitales obtenidas fueron procesadas mediante el algoritmo matemático para conseguir la medición del diámetro de fibra.

En el anexo 8 se muestra una reseña del fundamento del algoritmo matemático (DIFDA) para el cálculo del diámetro de la fibra de alpaca, en donde también se puede apreciar el tiempo invertido para la medición del diámetro por este método.

### **5.3.1. Materiales.**

Muestras de fibra de alpaca. (211).

Porta *slide* universal. (1030).

Marcador indeleble. Color negro, punta fina.

Computadora.

Escáner para transparencias y negativos Super Coolscan 5000 ED. Marca Nikon.

Algoritmo matemático (DIFDA).

### **5.3.2 Procedimiento.**

Cada porta *slide* está compuesto por dos partes iguales que se ensamblan entre sí por presión manual. Se puede abrir y cerrar con facilidad.

- ❖ Se preparó 5 porta *slide* de cada muestra de fibra. Haciendo uso del marcador indeleble se rotuló los porta *slide* con la identificación correspondiente para cada uno de la siguiente manera: Con el número de la muestra seguido de una letra minúscula (a, b, c, d, e). Por ejemplo, para la muestra N°. 1 se rotularon los porta *slide*: 1a, 1b, 1c, 1d, 1e; y así para todas las muestras, como se explica en el cuadro 8.
- ❖ Una vez rotulados los porta *slide* se prepararon con la fibra de alpaca, las cuales se mantenían limpias y secas conservadas en bolsas de papel Kraft.
- ❖ Se tomó una porción de la muestra de fibra correspondiente.
- ❖ En el porta *slide* abierto se acomodaron las fibras de alpaca en forma vertical.
- ❖ Una vez cubierto el porta *slide* con las fibras, se cerró por presión manual.

Este procedimiento se realizó de la misma manera para todos los porta *slide* que en total se prepararon. La poca cantidad de fibra de cinco muestras no permitió preparar cinco porta *slide* para éstas.



Cuadro 8. Proceso de identificación de los porta *slide*.

	<b>Identificación de porta <i>slide</i></b>					
<b>Número de muestra</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>Total</b>
1	x	x	x	x	x	5
:	:	:	:	:	:	:
27	x	x	x	x	x	5
28	x	x	x			No se incluyó
29	x	x	x	x	x	5
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:
36	x	x	x	x	x	5
37	x	x				No se incluyó
38	x	x	x	x	x	5
:	:	:	:	:	:	:
40	x	x	x			No se incluyó
41	x	x	x	x	x	5
:	:	:	:	:	:	:
116	x	x	x	x	x	5
117	x	x	x	x		No se incluyó
:	:	:	:	:	:	:
200	x	x				No se incluyó
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:
211	x	x	x	x	x	5
<b>Número total de porta <i>slide</i> preparados.</b>						1030.

Obsérvese en el anexo 5 la fotografía de los materiales utilizados en la preparación de la muestra para la medición mediante el algoritmo matemático; en el anexo 6, la fotografía de un porta *slide* preparado con fibra de alpaca; y en anexo 7, la fotografía del equipo necesario para la medición mediante este método de imagen digital.

Preparados los porta *slide* con fibra de alpaca se escanearon haciendo uso del escáner de transparencias y negativos de la siguiente manera:

- ❖ La imagen se obtuvo en la escala de los grises.
- ❖ Se obtuvo la imagen digital con ancho: 3,946 píxeles y alto: 3,550 píxeles.
- ❖ Se utilizó una resolución de 4,000 píxeles/pulgada.

Conforme se obtenían las imágenes digitales se almacenaban en un lote de archivos de cómputo. (Carpeta). Se crearon dos carpetas de cómputo, en una se almacenaron 206 imágenes digitales (Una imagen digital por muestra) y en otra, 1030 (Cinco imágenes digitales por muestra).

Las imágenes digitales se procesaron con las dos opciones en que podía ser utilizado el algoritmo matemático, de la siguiente manera:

1°.- Las imágenes digitales fueron procesadas en forma completa, seleccionando esta función del algoritmo matemático. (Las dos carpetas de cómputo).

2°.- Se realizó el procesamiento de las imágenes digitales utilizando la función de secciones cuadradas o cajas haciendo pruebas con el número de éstas, reduciendo el mismo a partir de cinco para cada imagen; y se consideró dos dimensiones (Nº.de filas x Nº.de columnas) para las secciones, 1000 x 1000, y 500 x 500. (La carpeta de cómputo que contenía una imagen digital por muestra).

Finalizado cada proceso de medición el algoritmo matemático almacenaba en forma automática los resultados obtenidos en la carpeta seleccionada.

El procedimiento empleado en la medición de las imágenes digitales mediante el algoritmo matemático se explica mejor en el cuadro 9.



#### 5.4 Análisis Estadístico.

Siguiendo la metodología planteada para cada uno de los tres procedimientos de medición de diámetro del estudio se obtuvo los valores correspondientes al promedio de diámetro, desviación estándar, y coeficiente de variación.

Se evaluó las medidas del diámetro de fibra mediante el algoritmo matemático con las correspondientes de los métodos de medición convencionales (Lanámetro y OFDA) y también las de las opciones (Medición mediante imagen digital completa y medición de secciones o cajas) del algoritmo matemático (DIFDA). Para estas evaluaciones se consideró una imagen digital por muestra.

Las comparaciones de las medidas (Diámetro promedio de cada muestra) se realizó de la siguiente manera: Algoritmo matemático Vs. OFDA, Algoritmo matemático Vs. Lanámetro.

El cuadro 10 muestra el esquema del análisis estadístico realizado en la evaluación del algoritmo matemático (DIFDA) con Lanámetro y con OFDA, y entre las opciones de medición de diámetro que este algoritmo matemático ofrece. En la evaluación del algoritmo matemático (DIFDA) con Lanámetro y con OFDA se ha utilizado la prueba estadística T de *Student* pareado y la prueba de Correlación. También se realizó la comparación de Lanámetro con OFDA. El análisis estadístico se efectuó mediante el programa de computación SAS (*Statistical Analysis System*).

Para determinar el error que podría existir por la variabilidad en la preparación de muestra se evaluó el cuadrado medio del error mediante Análisis de Varianza que incluyó entre muestras y sub-muestras dentro de muestras (Error). Para esta evaluación se consideró cinco imágenes digitales por muestra.

En el caso de la opción de medición mediante secciones o cajas, las medidas obtenidas de los procesos realizados con el número de cajas y las dimensiones de éstas escogidos se evaluaron mediante T de Student pareado. Así mismo, se evaluaron todas las medidas de estos procesos con las de la opción de medición mediante imagen digital completa empleando la misma prueba estadística.

En el anexo 9 se muestra mediante gráficos de dispersión la comparación de los valores de promedio de diámetro ( $\mu$ ) de DIFDA con Lanámetro (1) y con OFDA (2); así como, una tabla de valores referenciales del análisis estadístico mediante Regresión Lineal Simple (3).

Cuadro 10. Esquema del análisis estadístico realizado en la evaluación de las mediciones del algoritmo matemático (DIFDA) con las de Lanámetro y las de OFDA, y entre las opciones de medición de diámetro que ofrece.

Prueba estadística	Comparaciones realizadas	Variable analizada	Opción del algoritmo matemático evaluada	Imágenes digitales por muestra.
T de Student pareado.	Algoritmo Matemático (DIFDA) y Lanámetro. Algoritmo Matemático (DIFDA) y OFDA.	Diámetro ( $\mu$ ).	Procesamiento de imagen digital completa.	1
	Algoritmo Matemático (DIFDA). N°cajas y dimensión de éstas.	Diámetro ( $\mu$ ).	Procesamiento de secciones cuadradas dentro de la imagen digital.	1
	Algoritmo Matemático (DIFDA). Procesamiento de cajas y Procesamiento de imagen digital completa.	Diámetro ( $\mu$ ).	Procesamiento de secciones cuadradas dentro de la imagen digital.	1
Correlación.	Algoritmo Matemático (DIFDA) y Lanámetro. Algoritmo Matemático (DIFDA) y OFDA.	Diámetro ( $\mu$ ).	Procesamiento de imagen digital completa.	1
Análisis de varianza.	Algoritmo Matemático (DIFDA).	Diámetro ( $\mu$ ).	Procesamiento de imagen digital completa.	5

#### IV. RESULTADOS

Para el presente estudio se consiguió 211 muestras, sin embargo, se llevó a cabo considerando 206, lo cual excede el tamaño muestral necesario (94) y da una mejor confiabilidad. Estas muestras provenían de animales de entre 1 a 10 años de edad, hembras o machos, de distintos colores, raza Huacaya o Suri.

De las mediciones de las muestras de fibra de alpaca mediante los métodos utilizados en este estudio, se tienen los siguientes resultados:

Cuadro 11. Resultados de las mediciones de diámetro de fibra de alpaca mediante el algoritmo matemático (DIFDA), Lanámetro, y OFDA.

Método	N	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Intervalos de Confianza
Algoritmo Matemático (DIFDA)	206	21.74	3.03	13.94%	21.33-22.15
Lanámetro	206	21.64	3.58	16.52%	21.15-22.13
OFDA	206	21.74	4.00	18.38%	21.19-22.29

Se determina, mediante la evaluación, que entre las medidas obtenidas por algoritmo matemático (DIFDA) con las de Lanámetro no existe diferencia estadística significativa, sucediendo lo mismo entre las del algoritmo matemático (DIFDA) con las de OFDA. La Fig. 4 representa los intervalos de confianza para cada uno de los tres métodos utilizados en este estudio, y la Fig. 5, la diferencia entre los métodos.

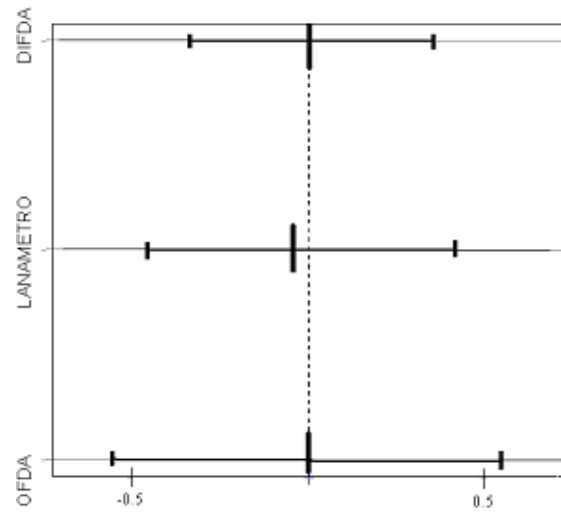


Fig.4. Intervalos de confianza de los métodos.

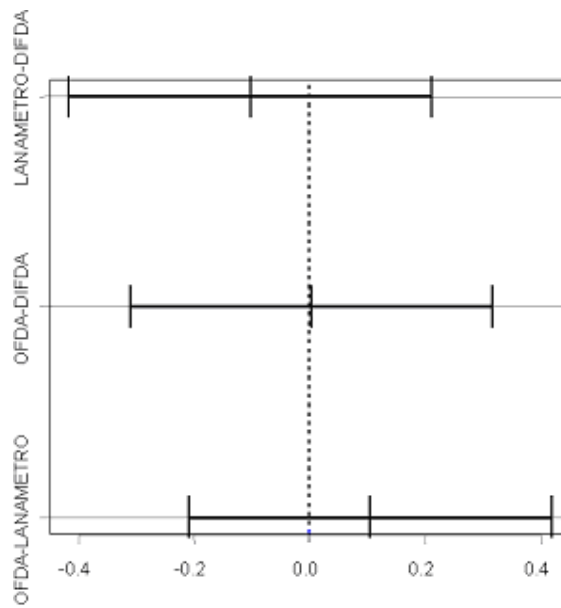


Fig.5. Diferencia entre métodos.

Del análisis estadístico mediante la prueba estadística de correlación se tiene que el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) encontrado en la evaluación de las medidas mediante el algoritmo matemático (DIFDA) con las de Lanámetro fue 0.87, de las respectivas del algoritmo matemático con las de OFDA fue 0.84, y para las de Lanámetro y OFDA, fue de 0.89.

En el análisis estadístico mediante Análisis de Varianza se determinó que la variabilidad de muestreo medido por el cuadrado medio del error fue 0.82  $\mu$ .

En el análisis estadístico de las opciones que ofrece el algoritmo matemático (DIFDA) se encontró que existe diferencia estadística significativa entre las medidas obtenidas del procesamiento de imagen digital completa con las medidas del procesamiento de cuatro cajas de dimensión (500x500) pix. ( $p=0.004$ ), y con las de dos cajas de dimensión (1000x1000) pix. ( $p=0.0011$ ). (Cuadro 12).





Cuadro 12. Diferencias de media absolutas ( $\mu$ ) entre las comparaciones de las mediciones obtenidas mediante las opciones que el procedimiento de imagen digital (DIFDA) ofrece.

		(A)					1000 x 1000				
		500 x 500									
1000 x 1000	(B) 1 [21.64]	1 [21.60]	2 [21.61]	3 [21.61]	4 [21.54]	5 [21.62]	1 [21.64]	2 [21.56]	3 [21.66]	4 [21.63]	5 [21.67]
		0.04	0.02	0.03	0.10	0.02		0.07	0.03	0.01	0.04
	2 [21.56]		0.05	0.05	0.03	0.06			0.10	0.07	0.11
	3 [21.66]			0.05	0.13	0.04				0.03	0.01
	4 [21.63]				0.10	0.01					0.04
	5 [21.67]					0.05					
500 x 500	1 [21.60]		0.02	0.01	0.06	0.02		0.03	0.07	0.03	0.08
	2 [21.61]			0.00	0.08	0.01			0.05	0.02	0.06
	3 [21.61]				0.08	0.01				0.02	0.06
	4 [21.54]					0.08					0.14
Imagen Digital Completa [21.74]		0.14	0.12	0.13	0.20 *	0.12	0.10	0.18 *	0.08	0.11	0.06

A: Dimensión (píxeles) de la sección o caja.

B: Número de cajas o secciones.

\*( $p \leq 0.01$ )

## V. DISCUSIÓN

Es necesario clasificar la fibra de alpaca según finura, utilizando un método objetivo de medición, ya que de esta manera no intervienen emociones ni prejuicios por parte del operador, determinando el diámetro con décimas de precisión, la desviación estándar y el coeficiente de variación. (McColl, 2004). Los métodos objetivos de medición de diámetro de fibra que existen en nuestro país, como Lanámetro, Sirolan Laserscan y OFDA otorgan los resultados deseados, sin embargo, estos equipos son costosos y necesitan mantenimiento técnico exclusivo por parte de la empresa que los ofrece, lo que los hace, en varios casos, inaccesibles para los productores de alpacas.

En el caso del algoritmo matemático (DIFDA) del Centro Internacional de la Papa, que utiliza imágenes digitales se presenta como un método económico y de fácil uso por el equipo que requiere, el cual es de fácil mantenimiento y transporte. El algoritmo matemático fue evaluado y proporciona las tres medidas de la muestra de fibra: promedio de diámetro en micras, desviación estándar y coeficiente de variación; que son las esenciales en la evaluación del vellón de un animal. (Hoffman, 1995).

Las mediciones que otorga el algoritmo matemático de este procedimiento son estadísticamente iguales a las otorgadas por Lanámetro y OFDA. Lo que indicaría que podría contribuir a solucionar el problema de medir en forma objetiva el diámetro de la fibra de alpaca en el hato o cerca de él, en nuestro país.

El grado de asociación encontrado en la evaluación del algoritmo matemático con Lanámetro y con OFDA fue, 0.87 y 0.84, respectivamente; y el hallado en la comparación de Lanámetro con OFDA, fue 0.89. Esto es debido a que los valores encontrados son uniformes, para las tres comparaciones realizadas. (Little y Hills, 1975; Steel y Torrie, 1960). Pudiendo ser esta asociación más próxima a la unidad de

no verse afectada por factores en los que se podría considerar por ejemplo la preparación de la muestra, y el equipo utilizado.

Como toda muestra es tomada al azar siempre se presenta una variabilidad muestral y un error de muestreo. El error generalmente refiere a la preparación de la muestra, ya que es un error dentro de los grupos formados (Little y Hills, 1975; Steel y Torrie, 1960), donde cada grupo (Muestra) presenta cinco imágenes digitales por muestra (Submuestras), sin embargo, la variabilidad que se encuentra también está relacionada a la uniformidad del diámetro dentro de la submuestra, a pesar de que éstas corresponden a la región corporal del costillar medio, donde existe una mayor uniformidad respecto al diámetro de otras partes del vellón del animal. (Aylan-Parker y Mc Gregor, 2001 ; McGregor, 2002). Esta variabilidad en el diámetro se observa entre fibras y dentro de las fibras, es decir, éstas presentan diferente grosor desde la punta hasta el ápice, debido a diversos factores, aún no del todo esclarecidos. (Carpio, 1991). Considerando la variabilidad entre métodos y procedimientos se calcula que el error absoluto del algoritmo matemático (DIFDA), es de 3%, valor obtenido mediante la relación de la diferencia del algoritmo matemático y los otros métodos de comparación con el observado, considerando muestras individuales.

En la medición de diámetro mediante cualquier método, el lavado y secado de las muestras de fibra, son de suma importancia, ya que son factores que afectarían en forma considerable las mediciones, ya que si las fibras no son lavadas y secadas adecuadamente se podría alterar la estructura y conservación de las mismas. En el almacenamiento de las muestras se utilizó bolsas de papel Kraft, ya que éste es bastante resistente al desgarro y a la tracción y permite proteger adecuadamente las muestras.

En la preparación de la muestra, se consideró antes de iniciar la preparación de las mismas, tanto de las láminas portaobjeto para las mediciones mediante Lanámetro como de los porta *slide* para las mediciones mediante el algoritmo matemático, realizar el rotulado de éstos con el número o identificación de la muestra de fibra correspondiente para llevar el proceso en forma ordenada y así evitar confusión para el procesamiento de las muestras.

En la técnica de Lanámetro el procesamiento de las muestras es lento, debido a que la preparación de las muestras es delicada y minuciosa. Así mismo, la medición del diámetro exige concentración y agudeza ocular, lo cual produce agotamiento, sin

embargo, es un método interesante ya que permite observar, mediante un microscopio, las fibras aumentadas en tamaño y se puede apreciar gran parte de la estructura morfológica de las mismas, como las células de la cutícula y la médula, así como las diferentes tonalidades de color que posee la muestra de fibra.

En el procesamiento de las muestras para realizar las mediciones mediante el algoritmo matemático (DIFDA), la preparación de las muestras implica un proceso sencillo. Debe sí cuidarse de que las fibras deben ser colocadas en forma longitudinal evitando cruzamientos entre ellas. La facilidad en la preparación de la muestra también puede estar relacionada al proceso de lavado y secado de las muestras. En cuanto al proceso de escaneo de los porta *slide*, para obtener la imagen digital, ésta se obtiene inmediatamente de ser introducida la muestra, en el compartimiento para porta *slide*, el escáner realiza un tratamiento automático, como para cualquier porta *slide* de uso común, sin embargo, la imagen debe ser obtenida en escala de grises y con una resolución de 4,000 píxeles/pulgada. Aspecto que fue considerado en el desarrollo del algoritmo matemático (DIFDA). DIFDA también considera la aparición de cruzamientos de fibras, ya que no todas las muestras de fibra que en algún momento se procesen se encontrarán en las mismas condiciones que las utilizadas en este estudio, por lo tanto, se trabajó con imágenes digitales que no mostraban cantidad de entrecruzamientos para conseguir que éstos no afecten las mediciones.

En la elección de la opción a utilizar, de las dos opciones que éste ofrece (Medición mediante imagen digital completa y medición de secciones o cajas) se debe recordar el tiempo invertido para cada caso y los eventos en que, en la evaluación que se realizó, se encontró diferencia estadística significativa. La forma más conveniente de utilizarlo sería mediante la opción de medición de secciones o cajas, por el tiempo que se requiere. Pero, si se dispone de tiempo la opción de medición de la imagen digital completa sería la más recomendable, ya que también requiere de pocos segundos.

Al realizar el análisis estadístico entre la opción de medición de imagen digital completa y la opción de medición de secciones se encontró diferencia estadística significativa entre sólo dos comparaciones de 55 realizadas. Aspecto debido a la variabilidad entre y dentro de muestras. Es importante mencionar que la diferencia absoluta encontrada está dada en micras, por lo que, la diferencia hallada es mínima. Como la elección de las cajas dentro de la imagen digital es realizada al azar por el

algoritmo matemático, puede ser que en otro momento no se encuentre diferencia estadística significativa. (Little y Hills, 1975; Steel y Torrie, 1960)

Considerando estos resultados, se recomendaría realizar la medición procesando a partir de tres cajas para la dimensión (1000 x 1000) píxeles, y a partir de cinco cajas para la dimensión (500 x 500) píxeles.

## **VI. CONCLUSIONES**

- ❖ El algoritmo matemático (DIFDA) evaluado proporciona mediciones estadísticamente iguales a las obtenidas por dos métodos convencionales de medición de diámetro de fibra de alpaca (Lanámetro y OFDA).
- ❖ Este método de medición de diámetro de la fibra de alpaca (DIFDA) proporciona la siguiente información del diámetro: Promedio, desviación estándar, y coeficiente de variación.
- ❖ Las imágenes digitales pueden ser leídas en su totalidad (Imagen digital completa) o en secciones de 3 para la dimensión 1000 x 1000 píxeles y de 5 para 500 x 500 píxeles, dependiendo de la cantidad de muestras a medirse.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- ❖ Concluir con la estructuración final de DIFDA utilizando el algoritmo matemático con las dos opciones evaluadas en esta tesis.
- ❖ Implementar una función, en este programa de computación, en que aparezca por muestra un resultado a manera de histograma.
- ❖ Desarrollar medidas de comunicación dirigidas a los productores de alpacas con menos recursos económicos para que puedan tener acceso a este método y beneficiarse con éste.
- ❖ Realizar estudios similares a esta tesis, considerando fibras de otras especies animales.



## VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

*Australian Wool Testing Authority. (AWTA). 2000a.* Sirolan Laserscan. A new techonology for a new millenium. (*On line*). Disponible: <http://www.awta.com.au> [09/05/05].

*Australian Wool Testing Authority. (AWTA). 2000b.* Understanding fiber diameter histograms. AWTA, Ltd. Australia. (*On line*) Disponible: <http://www.awta.com.au> [13/05/07].

*Australian Wool Testing Authority. (AWTA). 2000c.* Fibre curvature. (*On line*). Disponible: <http://www.awta.com.au> [09/05/05].

*Aylan-Parker, J; McGregor, B. 2001.* Optimising sampling techniques and estimating sampling variance of fleece quality attributes in alpacas. Small Ruminant Research. 2002. Vol: 44 (53-64).

*BSC Electronic, 2001.* OFDA. Fibre measurement instruments. (*On line*) Disponible: <http://www.ofda.com> [01/07/05].

*Carpio, M. 1991.* La fibra de camélidos. En: Producción de rumiantes menores: Alpacas. Capítulo V. C. Novoa. (ed). RERUMEN. Lima, Perú.

*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. (CSIRO). 2000a.* Sirolan Fleecescan. (*On line*) Disponible: <http://www.csiro.au> [30/06/05].

**Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. (CSIRO). 2000b.** Sirolan Fleecescan. High volume fleece testing. (On line) Disponible: <http://www.csiro.au> [30/06/05].

**Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. (CSIRO). 2000c.** Sirolan Laserscan. Fleece Measurement. (On line) Disponible: <http://www.csiro.au> [09/05/05].

**Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. (CSIRO). 2000d.** What is laserscan. (On line) Disponible: <http://www.csiro.au> [30/06/05].

**Consejo Nacional de Camélidos Sudamericanos. (CONACS). 2006.** Taller nacional de evaluación del acopio y venta de fibra de alpaca categorizada, 2005. Programa de Camélidos Sudamericanos Domésticos. Comercialización. (On line) Disponible: <http://www.conacs.gob.pe> [09/05/06].

**[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2005.** Situación actual de los camélidos sudamericanos en Perú. Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina. TCP/RLA/2914. (3-15, 19-22, 26-27, 33-36).

**Handsford, K. 1999.** A progress report on the use of Sirolan Laserscan for on-farm testing. Finewool Newsletter. March 1999. Issue 12.

**Hoffman, E; Fowler. 1995.** The alpaca book. Edit. Clay Press Inc. United States of America. Chapter 3: Fiber.

**Hoffman, E. 1998.** Fiber as a transitory medium: Factors affecting an histogram. Bonny Doon Alpacas. Estados Unidos de América. (On line) Disponible: <http://www.bonnydoonalpacas.org> [14/03/06].

**Hoffman, E. 2003.** The complete alpaca book. Edit. Bonny Doon Press. United States of America. Section 3: Fiber.

**Hoffman. 2005.** Histogram measurement now include spin fineness, curvature and medullation. The Camelid Quarterly. March 2005. (123-127).

**Instituto Nacional de defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (INDECOPI). 2004.** Norma técnica peruana NTP 231.301. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales. INDECOPI. Lima, Perú.

**Korff, J. 2004.** Developing a breeding program. Alpacas Magazine. Spring 2004. (101-105).

**León-Velarde, C; Barrera V. 2003.** Métodos biomatemáticos para el análisis de sistemas agropecuarios en el Ecuador. Edit. TECNIGRAVA. Quito, Ecuador. (20).

**Little, T; Hills, J. 1975.** Statistical methods in agricultural research. University of California. United States of America. Chapters: 1, 3, 13.

**Mathis, C; Faris, B. 2002.** Wool grades. Cooperative Extension Service. College of Agriculture and Home Economics. New Mexico State University. (*On line*) Disponible: <http://www.cahe.nmsu.edu> [30/06/05].

**McColl, A. 2001.** Understanding and interpreting micron testing. Alpacas are gorgeous. Estados Unidos de América. (*On line*) Disponible: <http://www.alpacasaregeorgeous.com> [14/03/06].

**McColl, A. 2004.** Methods for measuring microns. Alpacas Magazine. Herd Sire 2004. (164-168).

**McGregor, A. 2002.** Variation in and sampling of alpaca fleeces. State of Victoria, Department of Primary Industries. Australia. (On line) Disponible: <http://www.dpi.vic.au> [09/05/06].

**McNeill, K. 2004.** Felting: The science behind the art. Alpacas Magazine. Spring 2004 (140-142).

**New Zealand Wool Testing Authority Limited. (NZWTA). 2004.** Colour Measurement. (On line). Disponible: <http://www.nzwta.co.nz> [09/05/05].

**New Zealand Wool Testing Authority Limited. (NZWTA). 2004.** Fibre fineness. (On line). Disponible: <http://www.nzwta.co.nz> [09/05/05].

**[ONUDI] Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial. 2006.** Producción textil de fibras de camélidos sudamericanos en el área altoandina de Bolivia, Ecuador y Perú. Informe. Octubre 2006. Subdivisión de Promoción de Inversión y Tecnología. ONUDI. (On line). Disponible en: <http://www.unido.org> [13/05/07].

**Safley, M. 2005.** The case for crimp. Alpacas Magazine. Winter 2005. (86-91).

**Steel, R; Torrie, J. 1960.** Principles and procedures of statistics. Edit. McGraw-Hill. United States of America. Chapters: 6, 7, 10.

**Villarroel, J. 1991.** Las Fibras. En: Avances y perspectivas del conocimiento de los camélidos sudamericanos. Capítulo X. S. Fernández-Baca (ed). Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.(FAO). Santiago, Chile.

**Zárate, A. 2006.** Guía práctica de laboratorio. Laboratorio de Fibras Textiles, Pielés y Cueros. Universidad Nacional Agraria La Molina. (UNALM). Lima, Perú.

## **IX. ANEXOS**

Anexo 1. Modelo del registro utilizado en la medición del diámetro de fibra de alpaca mediante Lanámetro por el Laboratorio de Fibras de IVITA-Marangani.(FMV-UNMSM).

Anexo 2. Modelo del registro utilizado en la medición de diámetro de fibra de alpaca mediante OFDA. (Proporcionado por la empresa Sallalli APX S. A.)

Anexo 3. Fotografías de materiales utilizados en el proceso de lavado y secado de las muestras de fibra de alpaca. (Equipo del Laboratorio de Fibras de IVITA-Maranganí. FMV-UNMSM.).



Foto 1. Lavadero.



Foto 2. Estufa.



Anexo 4. Fotografía de los materiales empleados para la medición del diámetro mediante el Lanámetro. (Equipo del Laboratorio de Fibras de IVITA-Maranganí. FMV-UNMSM.).



Foto 3. Lanámetro. Obsérvese la lámina portaobjeto rotulada instalada en el aparato y la hoja para el registro de las mediciones.

Anexo 5. Fotografía de los materiales utilizados en la preparación de la muestra para la evaluación del algoritmo matemático (DIFDA).



Foto 4. Materiales para la preparación de muestra para la evaluación del algoritmo matemático. Fibra de alpaca reservada en bolsa de papel Kraft, nótese en ésta el número de identificación de la muestra; porta *slide* para preparar una muestra; y un marcador de tinta indeleble.

Anexo 6. Fotografía de un porta *slide* preparado con fibra de alpaca.



Foto 5. Porta *slide* preparado con fibra de alpaca. Nótese las fibras dispuestas en forma vertical y la identificación de la muestra en el borde inferior del porta *slide*.

Anexo 7. Fotografía del equipo necesario para la medición de diámetro de fibra de alpaca mediante el método de procesamiento de imagen digital (DIFDA).



Foto 6. Equipo necesario para la medición de diámetro de fibra de alpaca mediante el método de procesamiento de imagen digital (DIFDA). Computadora y un escáner de transparencias y negativos.

Anexo 8. Reseña del fundamento del algoritmo matemático (DIFDA) para el cálculo del diámetro de la fibra de alpaca. (El contenido de este documento pertenece a la División de Manejo de Recursos Naturales del Centro Internacional de la Papa y se muestra en esta tesis únicamente con fines explicativos).

La técnica se basa en el conteo de píxeles de una imagen digital obtenida de una muestra de fibra de alpaca (Fig. 1).

La imagen digital se obtiene mediante un escáner de transparencias y negativos a una resolución de 4,000 píxeles/pulgada. Las imágenes digitales son como una matriz rectangular dividida en filas y columnas de píxeles, donde cada píxel forma una celda diminuta en la imagen total. El píxel es la menor unidad en la que se descompone una imagen digital y aparecen como pequeños cuadrados en color, en blanco o en negro, o en matices de gris. Las imágenes digitales para la medición del diámetro mediante el algoritmo matemático deben ser obtenidas en escala de grises, por lo que el color de los píxeles de las fibras se encuentra en esta escala. (Fig. 2).

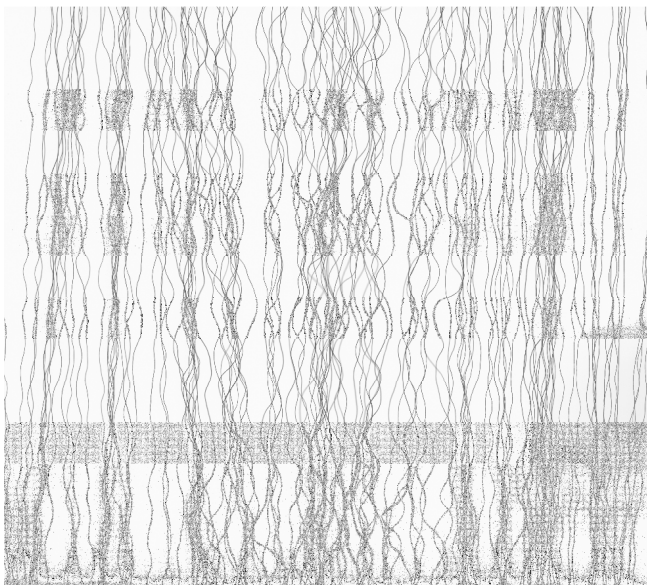


Fig. 1. Representación reducida de la imagen digital obtenida de una muestra de fibra de alpaca mediante un escáner de transparencias y negativos.

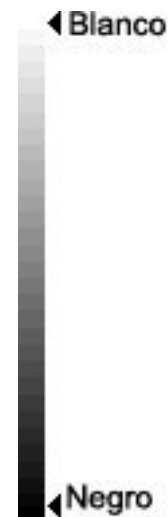


Fig. 2. Escala de grises.

Durante el proceso de análisis de píxeles se observó que las fibras tienden a tener el centro negro declinando a colores grises hacia los bordes. Se estableció un patrón de color secuencial que permite diferenciar la información de una fibra de la información de dos o más fibras cruzadas; las cuales no son contabilizadas.

En la Fig. 3 se describe los patrones de conteo de píxeles para la determinación del diámetro de fibra.

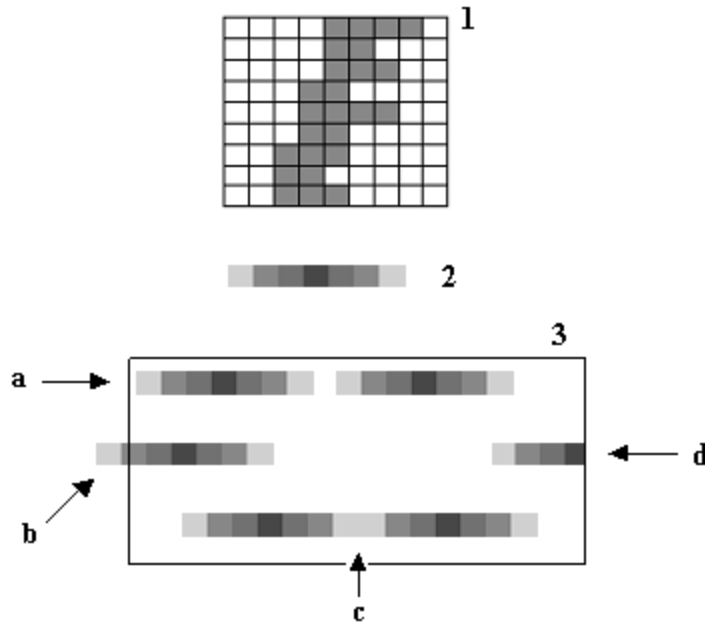


Fig. 3. Patrones de color para la contabilización de los píxeles que componen una fibra. Se describe en (1) esquemáticamente la imagen de una fibra; en (2), el patrón de conteo considerado para una fibra y en (3), se presenta en (a) el patrón considerado correcto para la contabilización de los píxeles que componen el diámetro de una fibra; los patrones no considerados correctos implican el inicio del conteo al intermedio de una fibra (b), de fibras entrecruzadas (c) y en fibras en que no se termina la secuencia del patrón correcto (d).

Este algoritmo matemático es un algoritmo de conteo y análisis, fue diseñado y programado en lenguaje C++ con el objetivo de contabilizar el número de píxeles previa determinación del área de la imagen digital que en forma matricial está compuesta por filas y columnas de píxeles (3,550 x 3,946). Este algoritmo tiene la posibilidad de realizar la medición de toda la imagen digital (Fig. 1) o de varias áreas pequeñas (Fig. 4) que mide en forma secuencial y en menor tiempo. La dimensión y número de estas áreas

puede ser programado por el usuario. La lectura del conteo de píxeles se inicia, en ambos casos, por la primera fila empezando por la esquina superior izquierda y cuenta los píxeles avanzando hacia la derecha hasta finalizar la fila; luego se desplaza a la siguiente fila y así sucesivamente hasta llegar a la última fila de la imagen.

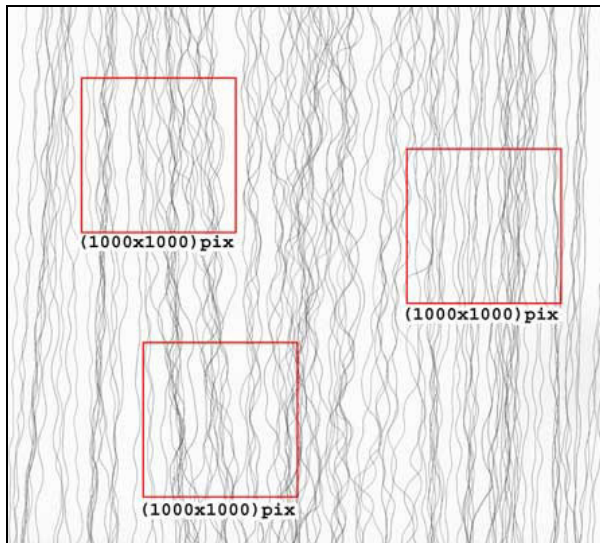


Fig. 4. Representación reducida de la imagen digital en la medición del diámetro mediante la opción de secciones o cajas.

Se presenta, como ejemplo, la elección de tres cajas de dimensión (1000x1000) píxeles, considerándose sólo éstas en la medición.

Para una mejor comprensión del proceso de conteo se explicará mediante el siguiente ejemplo. En la Fig. 5, A representa la imagen digital completa y B, la ampliación de un pequeño sector de la imagen. Este sector está formado por 45 líneas y 65 columnas de píxeles, en el cual se puede apreciar 3 fibras ( a, b, y c) que cruzan la imagen de arriba hacia abajo.

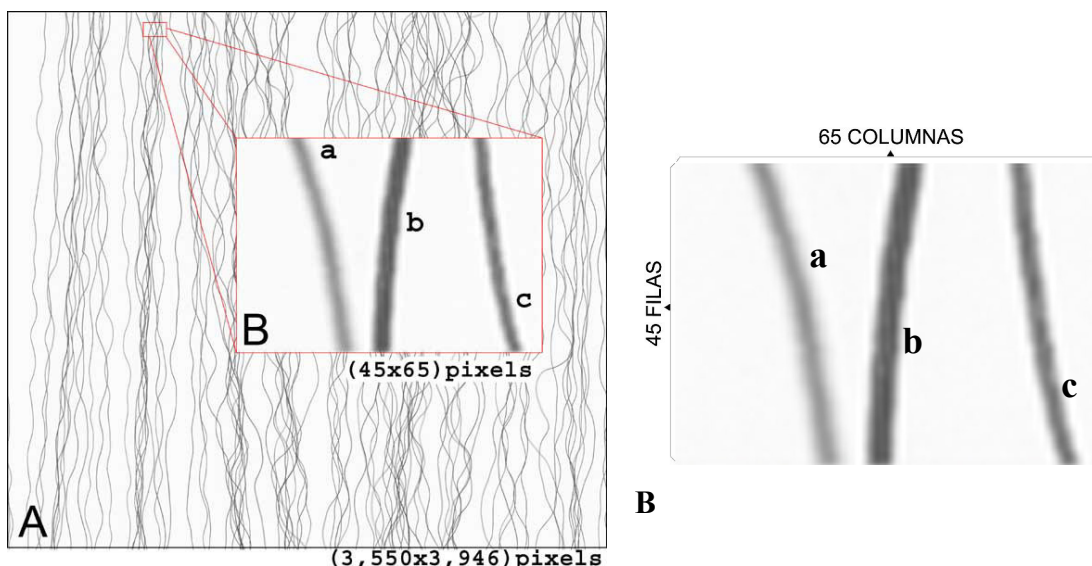


Fig. 5. Representación reducida de la imagen digital completa de una muestra de fibra de alpaca (A) con un sector ampliado (B).

Si se realizara la medición de sólo este sector, en la primera fila de la imagen ampliada (Fig. 5, B), la primera fibra (a) se conforma, por ejemplo, de 2 píxeles de color gris, la segunda fibra (b) de 4 y la tercera (c) de 3; en la segunda fila, la primera fibra se conforma de 2 píxeles de color gris, la segunda de 3 y la tercera de 3. El conteo prosigue hasta llegar a la fila 45. (Cuadro 1). Esta información se va almacenando en un archivo que almacena la información como se muestra en el cuadro 2 para posteriormente generar un reporte denominado Reporte de Frecuencias.



Cuadro 1. Ejemplo de conteo del número de píxeles que componen las fibras.

Fila \ Fibra	Píxeles/Fibra		
	[a]	[b]	[c]
1	2	4	3
2	2	3	3
.	...	...	...
.	...	...	...
.	...	...	...
45	...	...	...

Cuadro 2. Ejemplo del Reporte de Frecuencias de píxeles contabilizados.

Número de píxeles	Frecuencia
4	2
3	43
2	25

Se determinó que un píxel equivale a 6.6336 micras. Entonces, el diámetro se calcula multiplicando la columna correspondiente al número de píxeles por 6.6336. Con esta información el Reporte de Frecuencias se tendría el siguiente formato (Cuadro 3) :

Cuadro 3. Ejemplo del formato final del Reporte de Frecuencias.

No. de píxeles	Frecuencia	Diámetro ( $\mu$ )
4	2	26.5344
3	43	19.9008
2	25	13.2672

En el reporte denominado Reporte de Promedios se guarda el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación del diámetro de la muestra de fibra de alpaca. Esta información se calcula utilizando la información almacenada de la siguiente manera:

1. Promedio.  $\Sigma(\text{Diámetro} \times \text{Frecuencia}) / \Sigma (\text{Frecuencia})$ .
2. Desviación estándar.  $\sqrt{\Sigma((\text{Diámetro}-\text{Promedio})^2 \times \text{Frecuencia}) / \Sigma \text{Frecuencia}}$ .
3. Coeficiente de variación.  $(\text{Desviación estándar}/\text{Promedio}) \times 100$ .

Del ejemplo que se está presentando, se tendría el siguiente resultado (Cuadro 4):

Cuadro 4. Ejemplo del Reporte de Promedios generado por el algoritmo matemático.

Promedio ( $\mu$ )	Desviación estándar ( $\mu$ )	Coeficiente de variación (%)
17.72	12.21	68

Los resultados que se obtienen no se observan en la realidad, ya que es únicamente un ejemplo. A continuación se presenta resultados de la medición de la imagen digital correspondiente a la Fig. 1, mediante la opción de medición de la imagen digital completa. Para la cual el Reporte de Frecuencias y Reporte de Promedios son, respectivamente, los siguientes (Cuadros 5 y 6):

Cuadro 5. Reporte de Frecuencias para una muestra de fibra de alpaca. (Muestra correspondiente a la Fig. 1).

No. de píxeles	Frecuencia	Diámetro ( $\mu$ )
2	136094	13.2672
3	83194	19.9008
4	21264	26.5344
5	8013	33.168
6	3071	39.8016
7	733	46.4352
8	163	53.0688
9	37	59.7024
10	9	66.336
11	3	72.9696
12	1	79.6032

Cuadro 6 . Reporte de Promedios de la medición de una muestra de fibra de alpaca mediante el algoritmo matemático (DIFDA). (Muestra correspondiente a la Fig. 1).

Promedio ( $\mu$ )	Desviación estándar ( $\mu$ )	Coeficiente de variación (%)
17.65	5.99	33.91

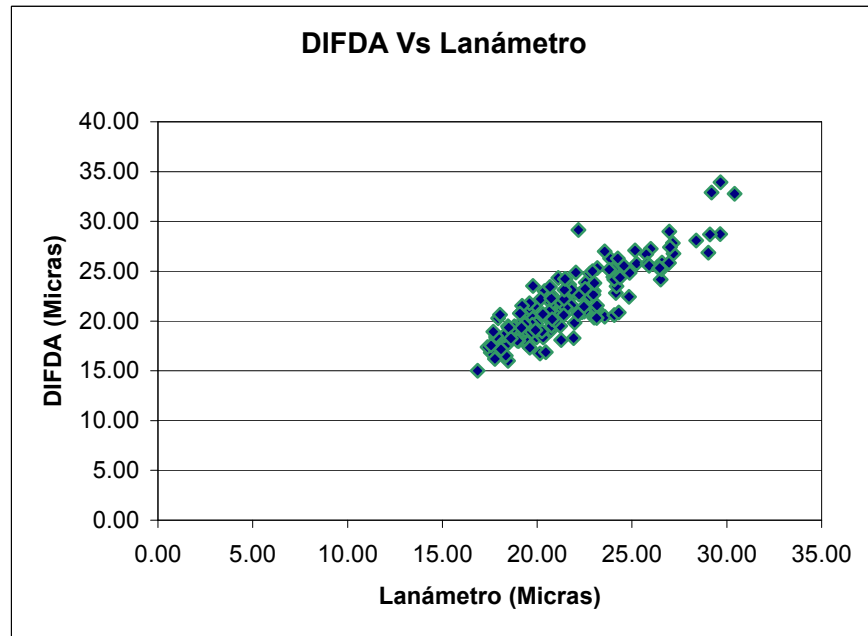
El cuadro 7 muestra el tiempo empleado por el algoritmo matemático en la medición del diámetro de una muestra de fibra de alpaca, tanto para la opción de medición de la imagen digital completa como para la opción de medición de cajas dentro de la imagen digital.

Cuadro 7. Tiempo requerido en la medición de una muestra de fibra de alpaca mediante el algoritmo matemático (DIFDA).

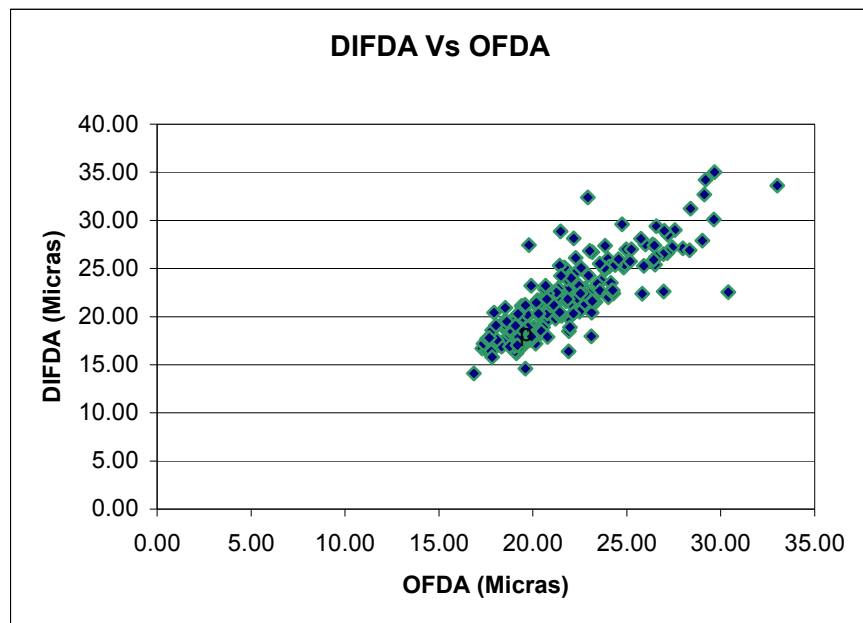
Opción de procesamiento.		Tiempo requerido (Segundos).	
Procesamiento de imagen digital completa.		36	
Procesamiento de secciones o cajas dentro de la imagen digital.	Número de cajas.	Dimensión de las cajas (Píxeles).	
		500 x 500.	1000 x 1000.
	5	4	13
	4	2	10
	3	2	8
	2	1	5
	1	1	2

Anexo 9. Gráficos de dispersión de la comparación de los valores de promedio de diámetro ( $\mu$ ) de DIFDA con Lanámetro y con OFDA; y valores referenciales del análisis estadístico mediante Regresión Lineal Simple.

(1) Dispersión de los valores de promedio de diámetro ( $\mu$ ) de DIFDA y Lanámetro.



(2) Dispersión de los valores de promedio de diámetro ( $\mu$ ) de DIFDA y OFDA.



(3) Valores referenciales de la Regresión Lineal Simple en la comparación de DIFDA con Lanámetro, DIFDA con OFDA, y Lanámetro con OFDA.

### *Analysis of Variance*

#### *DIFDA Vs Lanámetro*

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F Value</i>	<i>Pr &gt; F</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<b>Model</b>	1	98437	98437	32644.7	<.001	0.9937
<b>Error</b>	205	618.16175	3.01542			
<b>Total</b>	206	99056				

#### *DIFDA Vs OFDA*

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F Value</i>	<i>Pr &gt; F</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<b>Model</b>	1	99674	99674	20815.5	<.001	0.9902
<b>Error</b>	205	981.6322	4.78845			
<b>Total</b>	206	100656				

#### *Lanámetro Vs OFDA*

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F Value</i>	<i>Pr &gt; F</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<b>Model</b>	1	98410	98410	31226	<.001	0.9934
<b>Error</b>	205	646.06314	3.15153			
<b>Total</b>	206	99056				

### *Parameter Estimates*

	<i>b *</i>	<i>Standard Error</i>	<i>Confidence Interval</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F Value</i>	<i>Pr &gt; F **</i>
<b>DIFDA Vs Lanámetro</b>	0.99601	0.00551	1.00678-0.98522	1.57815	0.52	0.4702
<b>DIFDA Vs OFDA</b>	1.0225	0.00695	1.015822-0.988578	0.5016	0.1	0.7465
<b>Lanámetro Vs OFDA</b>	0.98878	0.0056	0.999756-0.9977804	12.67196	4.02	0.0463

\* Coeficiente de Regresión es calculado sin intercepto.

\*\* H<sub>0</sub>: b = 1.

H<sub>a</sub>: b ≠ 1.